Physikalische Briefe.

Vierter Theil.

Physikalische Briefe

für

Gebildete aller Stände,

von

Leonhard Euler

und

Dr. Joh. Müller,

Professor der Physik und Technologie an der Universität Freiburg im Breisgau.

Vierter Theil,

mit 23 Holzschnitten.

Leipzig und Stuttgart,

J. B. Müller's Verlagshandlung.

1853.

Druck von Blum und Vogel in Stuttgart.

Inhalt.

Erster Brief.

Große Wichtigkeit quantitativer Methoden für die Naturlehre.

Die physikalischen Briefe, welche ich im Laufe des Jahres 1847 schrieb, waren gewissermaßen Supplemente zu den Euler'schen Briefen; sie waren dazu bestimmt, dem Leser in kurzen Zügen die wichtigsten der Errungenschaften vorzuführen, durch welche die Wissenschaft seit Euler bereichert worden war. Flüchtig nur konnte ich deßhalb den Leser durch das große Gebiet hindurchführen, nur auf die wichtigsten Punkte der neuen Wissenschaft konnte ich ihn aufmerksam machen, ohne daß es möglich gewesen wäre, länger bei interessanten Einzelnheiten zu verweilen.

In den folgenden Briefen aber, zu deren Ausarbeitung ich von verschiedenen Seiten aufgefordert wurde, verfolge ich einen andern Plan. Während ich dort versuchte, die Grundzüge der neueren Physik zu skizziren, will ich jetzt aus der Masse des Materials, welches gerade in den letzten Jahren bearbeitet wurde, einige der interessantesten Gegenstände hervorheben und etwas ausführlicher besprechen.

Wenn man mit Aufmerksamkeit die Entwickelungsgeschichte der physikalischen Wissenschaften verfolgt, so fällt es bald in die Augen, daß stets ein Streben nach mechanischen Erklärungsgründen vorherrscht, daß die einzelnen Disciplinen um so mehr ihrer Vollendung entgegenschreiten, je mehr es gelingt, der Methode der mechanischen Wissenschaften Eingang zu verschaffen.

Die Mechanik selbst ist eine noch nicht gar alte Wissenschaft, sie datirt von Galiläi, welcher dadurch ihr Schöpfer wurde, daß er das Gesetz der Trägheit zuerst erkannte und aussprach. Durch dieses Gesetz erst erhielten die Massen ihre Bedeutung und dadurch erst wurde es möglich, die Größe der bewegenden Kräfte aus ihren Wirkungen zu ermitteln, kurz das Maaß in die Naturwissenschaften einzuführen. Nun ergaben sich einfach und leicht die

Gesetze des freien Falles, der Pendelschwingungen u. s. w. Aber nicht allein für die Bewegungserscheinungen auf der Erde war der Schlüssel des Verständnisses gegeben, auch die Mechanik des Himmels wurde, nachdem Kopernikus und Keppler geometrisch die Gesetze der Planetenbewegung ermittelt hatten, durch Newton's großen Geist aus diesen einfachen mechanischen Gesetzen entwickelt.

In der Mechanik, dem vollendetsten Theile der Naturlehre, welcher dem Physiker in der Bearbeitung aller übrigen Disciplinen seiner Wissenschaft als Muster vorschwebt, wird jede Entwickelung auf Maaß und Zahl zurückgeführt. Wo noch keine messenden Methoden Platz gegriffen haben, da steht unsere Erkenntniß des Zusammenhangs der Erscheinungen noch auf einer sehr niedrigen Stufe. Von einer streng wissenschaftlichen Behandlung ist erst dann die Rede, wenn die aufgestellten Hypothesen die Erscheinungen nicht allein der Art, sondern auch der Größe nach erklären, wenn diese Hypothesen von der Art sind, daß sich auf mathematischem Wege Consequenzen aus ihnen entwickeln lassen, die man messend mit den Resultaten der Beobachtung vergleichen kann.

Der Aufschwung der Chemie datirt von der Zeit, wo Lavoisier die Wage einführte. Dadurch erst war es möglich, nachzuweisen, daß die Oxyde eine Verbindung des Metalles mit einem andern Körper (Sauerstoff) seyen, und daß nicht umgekehrt die Metalle durch Verbindung der Oxyde mit einem hypothetischen Stoffe, dem Phlogiston, entstehen, wie man früher meinte. Erst durch den Gebrauch der Wage wurde es möglich, das Gesetz der chemischen Aequivalente aufzufinden, welches als die Basis der ganzen Chemie betrachtet werden muß.

Nachdem einmal der mathematische Ausdruck des Gesetzes der Spiegelung und der Brechung der Lichtstrahlen gefunden war, ergaben sich die gesammten Lehren der Katoptrik und Dioptrik als nothwendige Consequenzen dieser einfachen Sätze. Damit war aber für die physikalische Theorie des Lichtes, für den Erklärungsgrund der Lichtphänomene noch gar nichts gewonnen. Lange stritten Vibrationstheorie und Undulationstheorie mit scheinbar gleichen Waffen, bis es endlich gelang, nach den Prinzipien der Vibrationstheorie, gestützt auf genaue Messung der Beugungserscheinungen, die Länge der Lichtwellen zu berechnen und so eine Grundlage

zu gewinnen, von welcher aus sich alle Erscheinungen der Brechung und Spiegelung, der Beugung, der Farben dünner Blättchen, der Polarisation und der doppelten Brechung nicht nur der Art, sondern auch der Größe nach vollständig ableiten lassen.

Die Lehre vom Galvanismus entzog sich lange Zeit hindurch einer präciseren Behandlungsweise, bis endlich Ohm im Jahr 1827 das nach ihm genannte Gesetz veröffentlichte und dadurch einen Ausgangspunkt für messende Versuche in diesem wichtigen Zweige der Naturlehre feststellte. Lange fand das Ohmische Gesetz nicht die allgemeine Anerkennung, welche es verdient, was wohl zum Theil daher rühren mag, daß die experimentellen Hülfsmittel zu seiner Bestätigung noch gar zu unvollkommen waren, daß es der größten Geschicklichkeit und Ausdauer eines Physikers, wie Fechner, bedurfte, um die Schwierigkeiten zu überwinden, welche sich hier seinen Bemühungen entgegenstellten.

Erst nachdem man im Besitze von galvanischen Ketten war, welche constante Ströme lieferten (21ter Brief, Seite 126), und nachdem man in der Tangentenbussole ein bequemes Instrument zur genauern Messung starker galvanischer Ströme erhalten hatte, wurde es leicht, die Richtigkeit des Ohmischen Gesetzes nachzuweisen, und nun erst erkannte man allgemein die hohe Bedeutung desselben.

Die Tangentenbussole hat im Wesentlichen folgende Einrichtung. Aus einem sehr starken Kupferdraht oder aus einem sehr dicken Kupferblech wird ein Ring von 1½ bis 2 Fuß Durchmesser gebildet, so aber, daß Anfang und Ende nicht in metallischer Berührung sind, der Ring also von einem galvanischen Strom durchlaufen werden kann, wenn man ihn in geeigneter Weise in den Schließungsbogen einer galvanischen Batterie einschaltet. Dieser Ring (Fig. 1) ist nur auf einem entsprechenden Stative befestigt und in der Mitte desselben eine kleine Magnetnadel angebracht, so daß die Spitze, auf welcher sich diese Nadel dreht, genau der Mittelpunkt des Ringes ist. Die Nadel ist von einem getheilten Kreise

Fig. 1.



umgeben, an welchem man ihre Ablenkung aus dem magnetischen Meridian ablesen kann.

Das ganze Instrument wird so aufgestellt, daß die Ebene des Ringes vertikal steht und genau in die Ebene des magnetischen Meridians fällt; die Magnetnadel fällt alsdann gleichfalls mit der Ringebene zusammen und zeigt auf den Nullpunkt ihrer Theilung.

Sobald aber ein Strom den Ring durchläuft, wird die Nadel abgelenkt und die Stärke des Stromes ist dann stets der trigonometrischen Tangente des Ablenkungswinkels proportional; daher auch der Name des Instrumentes.

Nachdem wir nun ein Instrument kennen gelernt haben, welches eine leichte und genaue Messung starker galvanischer Ströme erlaubt, wollen wir das Ohmische Gesetz selbst näher betrachten.

Dieß Gesetz sagt, daß die Stärke des galvanischen Stromes stets abhängig ist von zwei Dingen, nämlich 1) von der elektromotorischen Kraft des stromerregenden Apparates, d. h. von der Kraft, mit welcher der elektrische Strom gleichsam in Bewegung gesetzt wird; die elektromotorische Kraft einer voltaischen Säule oder eines derselben entsprechenden Apparates ist stets der elektrischen Spannung an den Polen der geöffneten Kette proportional. Die Stromstärke wächst, wie Ohm nachgewiesen hat, in gleichem Verhältniß mit der elektromotorischen Kraft. Ferner aber ist die Stärke des galvanischen Stromes abhängig 2) von der Größe sämmtlicher Leitungswiderstände, welche der galvanische Strom auf dem Wege durch die geschlossene Kette zu überwinden hat, und zwar nimmt die Stromstärke in gleichem Verhältniß ab, in welchem der Leitungswiderstand zunimmt.

Die Stromstärke ist also der elektromotorischen Kraft direkt und dem Leitungswiderstand umgekehrt proportional.

Das Ohmische Gesetz spricht das Verhältniß zwischen Stromstärke, elektromotorischer Kraft und Leitungswiderstand mit mathematischer Präcision aus, es läßt sich also auch in Gestalt einer mathematischen Formel wiedergeben; bezeichnen wir mit S die Stromstärke, mit E die elektromotorische Kraft, mit R den gesammten Widerstand der geschlossenen Kette, so ist das Gesetz ausgedrückt durch die Formel:

$$S = \frac{E}{R}.$$

Eine nähere Erörterung des Ohmischen Gesetzes mag dem nächsten Briefe vorbehalten bleiben.

Zweiter Brief.

Das Ohmische Gesetz.

Daß die elektrische Spannung an den Polen einer nicht geschlossenen volta'schen Säule der Anzahl der Plattenpaare proportional wächst, ist bereits im 39ten Briefe auseinandergesetzt worden. Daraus folgt nun, daß auch die elektromotorische Kraft eines stromerzeugenden galvanischen Apparates der Anzahl der Plattenpaare, der Anzahl der galvanischen Becher proportional ist, welche hinter einander zur Säule verbunden sind. Bezeichnen wir also mit e die elektromotorische Kraft eines Plattenpaares, eines Bechers, so ist 2e, 3e, 4e . . . . ne die elektromotorische Kraft einer aus 2, 3, 4 . . . . n solchen Plattenpaaren oder Bechern zusammengesetzten Säule.

Was den in einer geschlossenen Kette zu überwindenden Leitungswiderstand betrifft, so zerfällt er in zwei Theile, welche wesentlich von einander zu unterscheiden sind, nämlich 1) den Leitungswiderstand im Schließungsbogen, d. h. in dem Leiter, durch welchen die beiden Pole der Säule miteinander verbunden sind, und 2) den Leitungswiderstand in der Säule selbst, welcher vorzugsweise von den Flüssigkeiten herrührt, welche der Strom durchlaufen muß, um von einem Plattenpaar zum andern überzugehen.

Den Widerstand im Schließungsbogen kann man nach Belieben ändern. Er ist groß, wenn man in den Schließungsbogen einen Wasserzersetzungsapparat (Voltameter, 46ter Brief, Seite 112) einschaltet, weil die Flüssigkeiten im Vergleich zu den Metallen sehr schlechte Leiter der Elektrizität sind; der Leitungswiderstand im Schließungsbogen ist größer, wenn die beiden Pole der Säule durch einen langen, dünnen, — kleiner, wenn sie durch einen kurzen dicken Kupferdraht mit einander verbunden werden.

Der Widerstand in dem stromerzeugenden Apparate selbst, also der gesammte Leitungswiderstand innerhalb der Säule, ist mit dieser selbst gegeben und wird deßhalb der wesentliche Leitungswiderstand genannt. Mit der Anzahl der Plattenpaare wächst

auch der wesentliche Widerstand; der wesentliche Leitungswiderstand ist ebenso wie die elektromotorische Kraft einer Säule der Anzahl der elektromotorischen Becher, welche der Strom der Reihe nach durchlaufen muß, proportional.

Bringt man die eben erwähnten Thatsachen mit dem Ohmischen Gesetz in Verbindung, so ergibt sich ganz einfach, in welchen Fällen eine Vermehrung der die Säule bildenden Plattenpaare, in welchen Fällen eine Vergrößerung derselben für die Stromstärke von Vortheil ist. Am präcisesten ergeben sich diese Resultate auf algebraischem Wege; die wichtigsten Consequenzen lassen sich aber auch ohne mathematische Entwickelung leicht übersehen.

Nehmen wir an, man habe den Strom durch einen guten Leiter hindurchzusenden, dessen Leitungswiderstand nur gering ist gegen den Leitungswiderstand eines elektromotorischen Bechers, also gegen den Leitungswiderstand der Flüssigkeit, welche die Zinkplatte von der ihr gegenüberstehenden Kupferplatte (oder Platinplatte u. s. w.) trennt, so wird schon ein einziges Plattenpaar einen starken Strom geben. Wendet man statt eines Plattenpaares nun eine Säule von 2, 3, 4 u. s. w. Plattenpaaren an, so wird dadurch die Stromstärke nicht merklich vermehrt werden, denn während durch Vermehrung der Plattenpaare einerseits die elektromotorische Kraft der Säule wächst, so wächst doch auch der gesammte Leitungswiderstand fast in gleichem Verhältniß.

Es sey z. B. der Leitungswiderstand eines elektromotorischen Bechers 4mal so groß als der Leitungswiderstand im Schließungsbogen, den wir als Einheit des Widerstands annehmen wollen, so ist die Stromstärke eines einzigen Bechers $\frac{1}{4+1} = \frac{1}{5}$, wenn wir mit 1 die elektromotorische Kraft eines Bechers bezeichnen.

Für eine Säule von zwei Plattenpaaren der Art ist nun die elektromotorische Kraft 2, der Leitungswiderstand 8, also ist die Stromstärke, wenn der Schließungsbogen unverändert derselbe bleibt: $\frac{2}{8+1} = \frac{2}{9}$; die Stromstärke ist also nur um $\frac{1}{45}$ gewachsen.

Ebenso ergeben sich für 3, 4 u. s. w. Plattenpaare die Stromstärken $\frac{3}{13}$, $\frac{4}{17}$ u. s. w., welche sämmtlich nicht merklich größer sind, als die von einem Plattenpaare gelieferte Stromstärke $\frac{1}{5}$.

Wenn der Leitungswiderstand im Schließungsbogen sehr gering ist, so bringt es also keinen Vortheil, daß man die Anzahl der Plattenpaare vermehrt; dagegen ist es in diesem Falle vortheilhaft, größere Plattenpaare anzuwenden.

Wenn die Platten vergrößert werden, so wird dadurch auch der Querschnitt der flüssigen Schicht vergrößert und dadurch der wesentliche Leitungswiderstand in gleichem Verhältniß vermindert. — In dem oben betrachteten Falle hatten wir für ein einzelnes Plattenpaar die Stromstärke $\frac{1}{4+1} = \frac{1}{5}$. Wendet man Platten von doppelter Oberfläche an, so wird der wesentliche Leitungswiderstand des Plattenpaares von 4 auf 2 herabgebracht, die Stromstärke ist also $\frac{1}{2+1} = \frac{1}{3}$, mithin bedeutend größer als für das halb so große Plattenpaar.

Ganz anders gestaltet sich die Sache, wenn im Schließungsbogen ein sehr bedeutender Leitungswiderstand zu überwinden ist, gegen welchen der wesentliche Leitungswiderstand eines elektromotorischen Plattenpaares als unbedeutend betrachtet werden kann; in diesem Falle erreicht man die Vergrößerung der Stromstärke nicht sowohl durch Vergrößerung der Plattenpaare, als durch Vermehrung derselben.

Es sey 1 die elektromotorische Kraft eines Plattenpaares, 4 der wesentliche Leitungswiderstand desselben, 100 der Leitungswiderstand im Schließungsbogen, so ist die Stromstärke, welche dieses einfache Plattenpaar zu geben vermag, $\frac{1}{104}$, die Stromstärke eines doppelten so großen Plattenpaares $\frac{1}{102}$, also in beiden Fällen fast gleiche Stromstärke. Dagegen gibt eine Säule von 2, 3, 4 u. s. w. Plattenpaaren der ersten Art die Stromstärke $\frac{2}{108} = \frac{1}{56}$, $\frac{3}{112} = \frac{1}{37}$, $\frac{4}{116} = \frac{1}{28}$ u. s. w. Hier ist also in der That die Vermehrung der Plattenpaare von entschiedenem Vortheil.

Je nach den Umständen ist es also bald vortheilhafter, eine Säule von vielen kleineren Plattenpaaren, bald eine solche von wenigen,

ja nur einem einzigen, aber größern Plattenpaare in Anwendung zu bringen.

Ist die elektromotorische Kraft der Säule, ihr wesentlicher Widerstand und der Leitungswiderstand im Schließungsbogen bekannt, so berechnet man nach dem Ohm'schen Gesetze leicht die Stromstärke. Umgekehrt zeigt uns dieß wichtige Gesetz den Weg, um aus der Kombination mehrerer zweckdienlich angestellter Versuche und Messungen sowohl die elektromotorische Kraft, als auch den wesentlichen Widerstand der volta'schen Apparate zu berechnen. Nur durch das Ohm'sche Gesetz ist es möglich, mit Sicherheit im Voraus zu bestimmen, wie viel elektromotorische Becher einer gegebenen Art und in welcher Kombination man dieselben anwenden müsse, um einen beabsichtigten Stromeffekt zu erhalten.

Eine weitere Ausführung des eben besprochenen Gegenstandes gehört nicht hierher; die gemachten Andeutungen sollen nur dazu dienen, die hohe Bedeutung des Ohm'schen Gesetzes darzuthun, und zu zeigen, daß es den Ausgangspunkt einer wissenschaftlichen Behandlung der Lehre vom Galvanismus und die Basis einer rationellen Anwendung desselben zu praktischen Zwecken bildet.

Es hat, wie schon bemerkt wurde, lange gedauert, bis die Wichtigkeit des Ohm'schen Gesetzes allgemein gewürdigt wurde. Nur nach und nach drang es durch. Der Grund davon liegt außer dem bereits Angeführten theilweise wenigstens auch darin, daß man erst später auf den Gedanken kam, bestimmte Einheiten für Stromstärke, Leitungswiderstand und elektromotorische Kraft einzuführen. Nur durch die Anwendung solcher Einheiten werden die galvanischen Versuche und Messungen verschiedener Physiker vergleichbar, was auch für die praktische Anwendung des Galvanismus von der größten Bedeutung ist.

Es sind verschiedene galvanometrische Einheiten in Vorschlag gebracht worden, und unter diesen dürften wohl, für den allgemeinern Gebrauch wenigstens, die Jacobi'schen die zweckmäßigsten seyn. Jacobi schlägt vor, als Einheit des Widerstandes den Leitungswiderstand eines reinen Kupferdrahtes von 1 Meter Länge und 1 Millimeter Durchmesser, — als Einheit der Stromstärke aber einen Strom anzunehmen, welcher durch ein Voltameter gehend in einer Minute 1 Kubikcentimeter Knallgas liefert.

Denken Sie sich in der Gleichung auf Seite 4 statt S und R Zahlenwerthe gesetzt, die sich auf diese Jacobi'schen Einheiten beziehen, so ergibt sich ohne Weiteres auch ein Zahlenwerth für die elektromotorische Kraft E. Dadurch also, daß man für Stromstärke und Leitungswiderstand bestimmte Einheiten einführt, ist auch zugleich die Einheit für die elektromotorische Kraft gegeben. Legt man die erwähnten Einheiten zu Grunde, so ergeben sich folgende Werthe für die elektromotorische Kraft der verschiedenen galvanischen Elektromotoren:

1) Für einen Bunsen'schen Zinkkohlenbecher 800
(Kohle in Salpetersäure, Zink in verdünnter Schwefelsäure.)
2) Für einen Grove'schen Zinkplatinbecher 780
(Platin in Salpetersäure, Zink in verdünnter Schwefelsäure.)
3) Für einen Daniell'schen Zinkkupferbecher 470
(Kupfer in concentrirter Lösung von Kupfervitriol, Zink in verdünnter Schwefelsäure.)
4) Für ein Zinkkupferpaar ohne poröse Scheidewand . 208
(Zink und Kupfer in verdünnter Schwefelsäure.)

Von dem Concentrationsgrad der angewandten Flüssigkeiten erscheint die elektromotorische Kraft der genannten Apparate fast ganz unabhängig.

Durch die eben angegebenen Zahlen ist nun ein sicherer Anhaltspunkt für die Beurtheilung des Werthes der verschiedenen stromerregenden Apparate gegeben, während früher in den vagsten Ausdrücken die eine Vorrichtung übermäßig gerühmt, eine andre dagegen mehr als sie es verdient zurückgesetzt wurde.

Bei der Beurtheilung der Wirkungsfähigkeit eines elektromotorischen Bechers ist aber außer seiner elektromotorischen Kraft noch sein wesentlicher Leitungswiderstand zu berücksichtigen. Dieser Leitungswiderstand ist aber nicht wie die elektromotorische Kraft eine constante Größe; bei gleicher Natur der beiden Metallplatten ist der wesentliche Leitungswiderstand des Bechers von der Größe der Platten und von dem Concentrationsgrad der Flüssigkeit abhängig. — Bei den Bunsen'schen und Grove'schen Säulen ist, unter übrigens gleichen Umständen, der wesentliche Leitungswiderstand weit geringer als bei der Daniell'schen, weil die Salpetersäure ein weit besserer Leiter des elektrischen Stromes ist, als eine Lösung von Kupfervitriol; die Daniell'sche Säule ist also gegen die Bun-

sen'sche sowohl wie gegen die Grove'sche in doppeltem Nachtheil, einmal in Betreff der elektromotorischen Kraft, dann aber auch in Beziehung auf den Leitungswiderstand.

Bei den sogenannten constanten Ketten ist überhaupt der Leitungswiderstand durch Einschiebung der porösen Scheidewand, welche die beiden Flüssigkeiten trennt, sehr stark vermehrt. Durch den Wegfall derselben wird nicht allein der Leitungswiderstand an und für sich vermindert, sondern es wird auch möglich, die Metallplatten weit näher aneinander zu rücken; deßhalb haben die gewöhnlichen Trogapparate, z. B. die Wollaston'sche Batterie einen verhältnißmäßig sehr geringen Leitungswiderstand.

Ist man nun einmal im Stande, die galvanische Wirkungsfähigkeit eines elektromotorischen Apparates genau zu ermitteln, vermag man diese Apparate so einzurichten, daß sie nach Belieben stärkere oder schwächere Ströme liefern, bald einen größern oder einen geringern Leitungswiderstand zu überwinden vermögen; besitzt man die Mittel, um die Stärke jedes galvanischen Stromes mit Genauigkeit zu messen, so kann man alsdann auch weiter die Beziehungen zwischen der Stromstärke und den durch den Strom hervorgebrachten Wirkungen ermitteln. Es ist dieß aber nicht allein für die Praxis, sondern auch für die Wissenschaft selbst von der größten Wichtigkeit, indem wir gerade durch die Untersuchung dieser Beziehungen über die wichtigsten Fragen der Elektricitätslehre Aufschluß erhalten.

Dritter Brief.

Gesetze des Elektromagnetismus.

Die nächste Frage, die wir nun erörtern wollen, ist die, in welchem Verhältniß die magnetisirende Kraft eines galvanischen Stromes zu dem in einem bestimmten Eisenstabe hervorgebrachten Magnetismus stehe.

In dem 43ten Briefe (S. 132) habe ich auseinandergesetzt, wie ein Eisenstab, welcher mit einem etwas dicken, seideumsponnenen Kupferdraht spiralförmig umwunden ist, sogleich zum Magnete wird, sobald dieser Draht galvanisch durchströmt ist.

Hier drängt sich nun die Frage auf, ob denn der Magnetis-

mus des Eisenstabes stets in gleichem Verhältniß wachse, wie die Stärke des Stroms, welcher ihn umkreiset, oder ob es für jeden Eisenstab eine Grenze der Magnetisirbarkeit gebe, über welche hinaus sein Magnetismus selbst durch die stärksten Ströme nicht gesteigert werden kann.

Nach früheren Versuchen sollte das erstere, nämlich Proportionalität zwischen Stromstärke und Magnetismus stattfinden. Mir schien dieß aus mehreren Gründen unwahrscheinlich und das Zeugniß der älteren Versuche ungenügend, einestheils weil sie zu einer Zeit angestellt wurden, wo es zur Lösung dieser Frage noch sehr an experimentellen Hülfsmitteln überhaupt, namentlich aber an galvanischen Apparaten fehlte, welche einigermaßen constante Ströme liefern konnten, dann aber vorzüglich deßhalb, weil die Versuche mit verhältnißmäßig dicken Stäben und schwachen Strömen angestellt worden waren, während man, um die von mir vermuthete Grenze der Magnetisirbarkeit nachzuweisen, dünnere Stäbe und stärkere Ströme anwenden muß.

Um diese für die Theorie des Magnetismus höchst wichtige Frage zur Entscheidung zu bringen, stellte ich selbst eine Reihe von Versuchen an, deren Ergebnisse ich nun in Kürze auseinandersetzen will.

Statt den Draht direkt auf den Eisenstab aufzuwinden, wie es Fig. 55, S. 132 darstellt, ist es zur leichteren Abänderung der Versuche vortheilhaft, den Draht auf eine Hülse von Holz, die etwa 1/2 bis 1 Zoll Durchmesser hat, in mehreren Lagen aufzuwinden. Wir wollen eine solche Vorrichtung eine Magnetisirungsspirale nennen.

Man kann nun in eine solche Magnetisirungsspirale Eisenstäbe von verschiedener Dicke einschieben und dann untersuchen, in welchem Verhältniß die Stärke ihres Magnetismus zu der Stärke der Ströme steht, welche man durch die Magnetisirungsspirale hindurchgehen läßt.

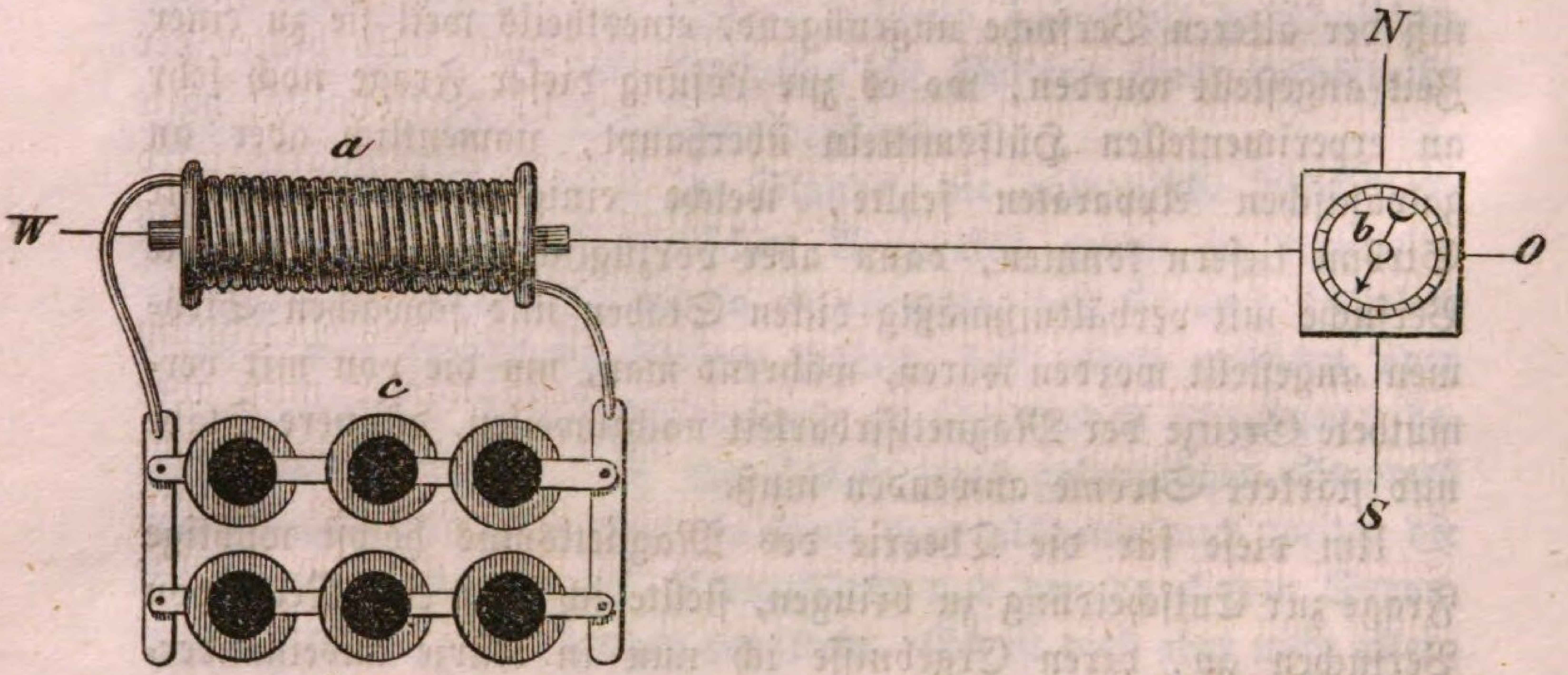
Durch zahlreiche Versuche der Art habe ich nicht nur die Existenz eines absoluten Maximums der Magnetisirbarkeit nachgewiesen, sondern auch empirisch das Gesetz entwickelt, nach welchem die Stärke des Magnetismus im Eisenstab bei verschiedener Dicke desselben mit der Stromstärke zusammenhängt.

Unter diesen Versuchen will ich nur einen ganz einfachen her-

vorheben, durch welchen die Grenze der Magnetisirbarkeit nachgewiesen wird.

Westlich von einer Bussole wurde eine 5½ Zoll lange Magnetisirungsspirale von 200 Windungen so aufgestellt, daß die Mitte der Spirale 18 Zoll weit von der Bussolennadel entfernt war. Die Axe der Spirale stand natürlich rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian.

Fig. 2.



Diese Anordnung wird durch Fig. 2 anschaulich gemacht, wo a die Spirale und b die Bussole bezeichnet. NS ist der magnetische Meridian; c ist die galvanische Säule, welche den Strom liefert.

Sobald nun ein Strom durch die Spirale geht, erfolgt eine Ablenkung der Nadel, und zwar ist diese Ablenkung ein Maaß für die Stärke des Stromes.

Als die Spirale in den Schließungsbogen einer aus zwei großen Bunsen'schen Bechern bestehenden Säule gebracht wurde, erfolgte eine Ablenkung von 6 Graden.

Nun wurde ein 6 Zoll langer, 2 Linien dicker Eisenstab in die Spirale eingeschoben; sogleich wuchs die Ablenkung der Nadel in der Bussole bis zu 30°; die Ablenkung ist also durch den Magnetismus des Eisenstabes um 24° vermehrt worden.

Nachdem der Eisenstab wieder entfernt worden war, wurde zur Erzeugung des Stromes statt einer Säule von 2 eine solche von 4 Bunsen'schen Bechern angewandt; die ursprüngliche Ablenkung betrug jetzt 8° und diese Ablenkung wurde durch Einschieben des

schon erwähnten Eisenstabes bis auf 32° gebracht, also ebenfalls um 24° vermehrt. Der Magnetismus des Eisenstabes war also bei dem letzten Versuche nicht merklich größer als beim ersten, der verstärkte Strom konnte in dem Eisenstabe keinen merklich stärkern Magnetismus hervorbringen als der schwächere.

Hätte man den Versuch mit ganz schwachen Strömen angestellt, so würde man allerdings eine Proportionalität zwischen Stromstärke und Magnetismus gefunden haben; bei fortwährend gesteigerter Stromstärke bleibt aber der Magnetismus bald hinter der Größe zurück, die man nach dem Gesetze der Proportionalität hätte erwarten können. Bei gleichförmig wachsender Stromstärke wird die Zunahme des Magnetismus langsamer und langsamer, bis endlich gar keine merkliche Zunahme desselben zu erreichen ist.

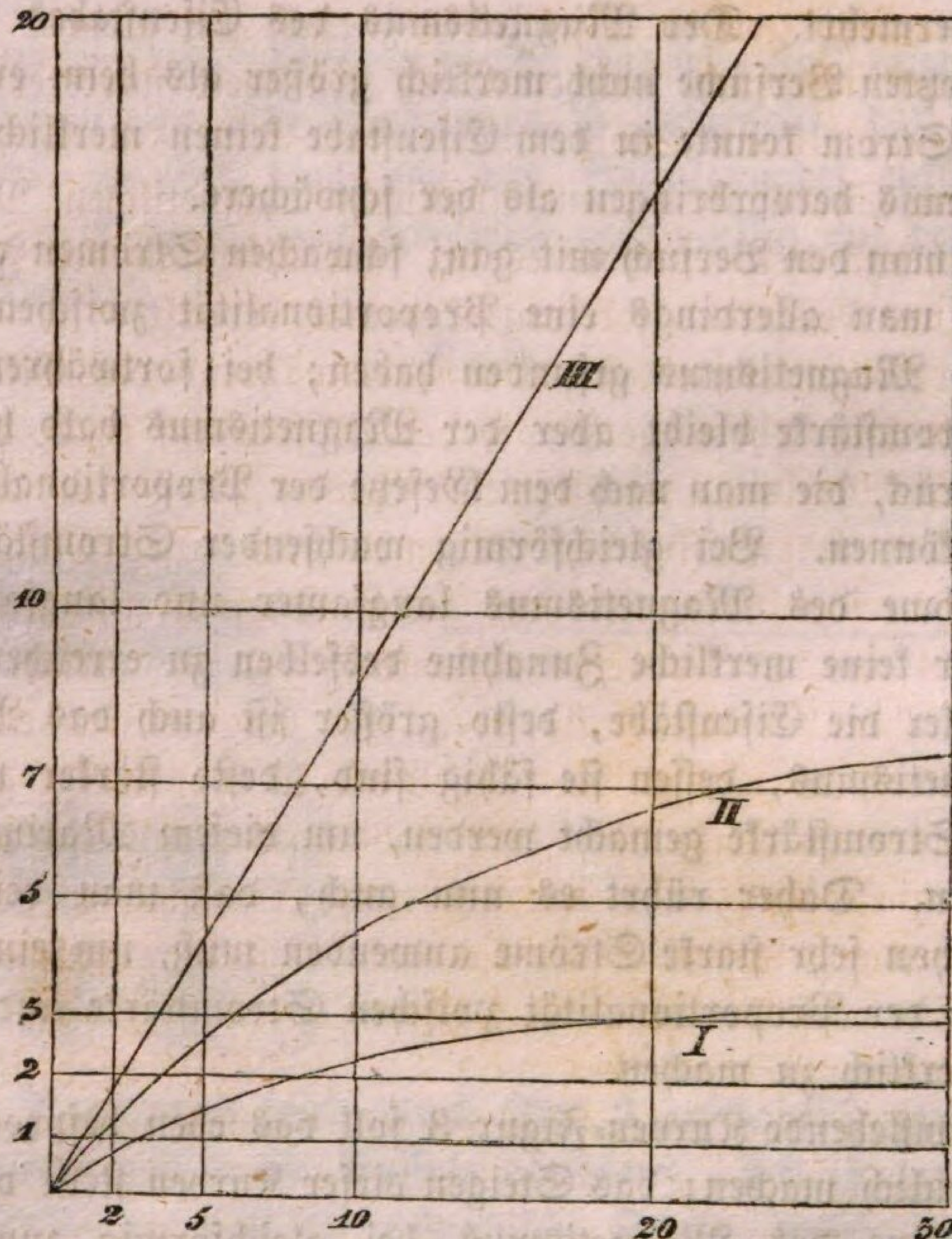
Je dicker die Eisenstäbe, desto größer ist auch das Maximum des Magnetismus, dessen sie fähig sind, desto stärker muß aber auch die Stromstärke gemacht werden, um diesem Maximum nahe zu kommen. Daher rührt es nun auch, daß man bei dickeren Stäben schon sehr starke Ströme anwenden muß, um eine Abweichung von der Proportionalität zwischen Stromstärke und Magnetismus merklich zu machen.

Die umstehende Kurven-Figur 3 soll das eben besprochene Gesetz anschaulich machen; das Steigen dieser Kurven stellt das Gesetz der Zunahme des Magnetismus bei gleichförmig zunehmender Stromstärke für 3 verschieden dicke Eisenstäbe dar, die der Reihe nach in dieselbe (nicht die obige, sondern eine größere) Magnetisirungsspirale eingeschoben wurden. Die Abscissen sind der Stromstärke, die Ordinaten sind dem Stabmagnetismus proportional.

Die Kurve I bezieht sich auf einen Stab, welcher 9 Millimeter im Durchmesser hatte. Man sieht, wie der Lauf dieser Kurve sehr bald in eine horizontale Linie übergeht, was andeutet, daß über gewisse Grenzen hinaus auch bei fortgesetzter Vermehrung der Stromstärke doch keine merkliche Steigerung des Magnetismus im Eisenstabe erzielt wird.

Auch in der Kurve II, welche sich auf einen Eisenstab von 15 Millimeter Durchmesser bezieht, hört das anfangs geradlinige Aufsteigen, d. h. die Proportionalität zwischen Stromstärke und Magnetismus bald auf, während endlich die Kurve III, welche sich auf einen 44 Millimeter dicken Stab bezieht, nicht merklich von

Fig. 3.



einer geraden Linie abweicht. Bei diesem Stab müßte man ganz enorme Stromstärken anwenden, um dem absoluten Maximum des Magnetismus, dessen er fähig ist, nur einigermaßen nahe zu kommen.

Es versteht sich von selbst, daß das Gesetz, welches die Kurven Fig. 3 darstellen, auch durch Formeln ausgedrückt werden kann; es ist aber hier nicht der Ort, diese Formeln zu entwickeln und zu discutiren.

Zum Schluß dieses Briefes will ich noch einiger Versuche erwähnen, welche den Unterschied im Verhalten des weichen Eisens und des gehärteten Stahls gegen magnetisirende Kräfte darthun.

Wendet man in dem oben Seite 12 beschriebenen Versuche anstatt des 6 Zoll langen, 2 Linien dicken Eisenstabes einen Stahlstab von denselben Dimensionen an, welcher glashart ist, so wird durch das Einschieben desselben in die Spirale die ursprüngliche Ablenkung von 6° nur auf 20°, also um 14° gesteigert. Der

Magnetismus des Stahlstabes bleibt also weit hinter dem Magnetismus des gleich großen Eisenstabes zurück; bei gleicher magnetisirender Kraft wird im weichen Eisen ein weit stärkerer Magnetismus erzeugt als im Stahl.

Um den Stahlstab seinem absoluten magnetischen Maximum eben so nahe zu bringen, wie es bei dem Eisenstab der Fall war, hätte es eines bedeutend stärkern Stromes bedurft.

Als der Strom unterbrochen wurde, während der Eisenstab in der Spirale lag, kehrte die Nadel der Bussole auf 0, d. h. in den magnetischen Meridian zurück, ein Beweis, daß mit dem Verschwinden des magnetisirenden Stromes auch aller Magnetismus des Eisens verschwindet. Als der gleiche Versuch mit dem Stahlstab gemacht wurde, blieb eine Ablenkung von 9° zurück.

Der Stahlstab verliert also, wenn die magnetisirende Kraft zu wirken aufhört, allerdings einen Theil des in ihm erregt gewesenen Magnetismus; er bleibt aber doch noch stark magnetisch und zwar ist der Magnetismus, den der gehärtete Stahlstab zurückzuhalten im Stande war, ungefähr $^1/_3$ des absoluten magnetischen Maximums, dessen er fähig ist.

Bei dünneren Stahlstäben wird der zurückbleibende Magnetismus verhältnißmäßig stärker, bei dickeren Stäben wird er verhältnißmäßig schwächer seyn.

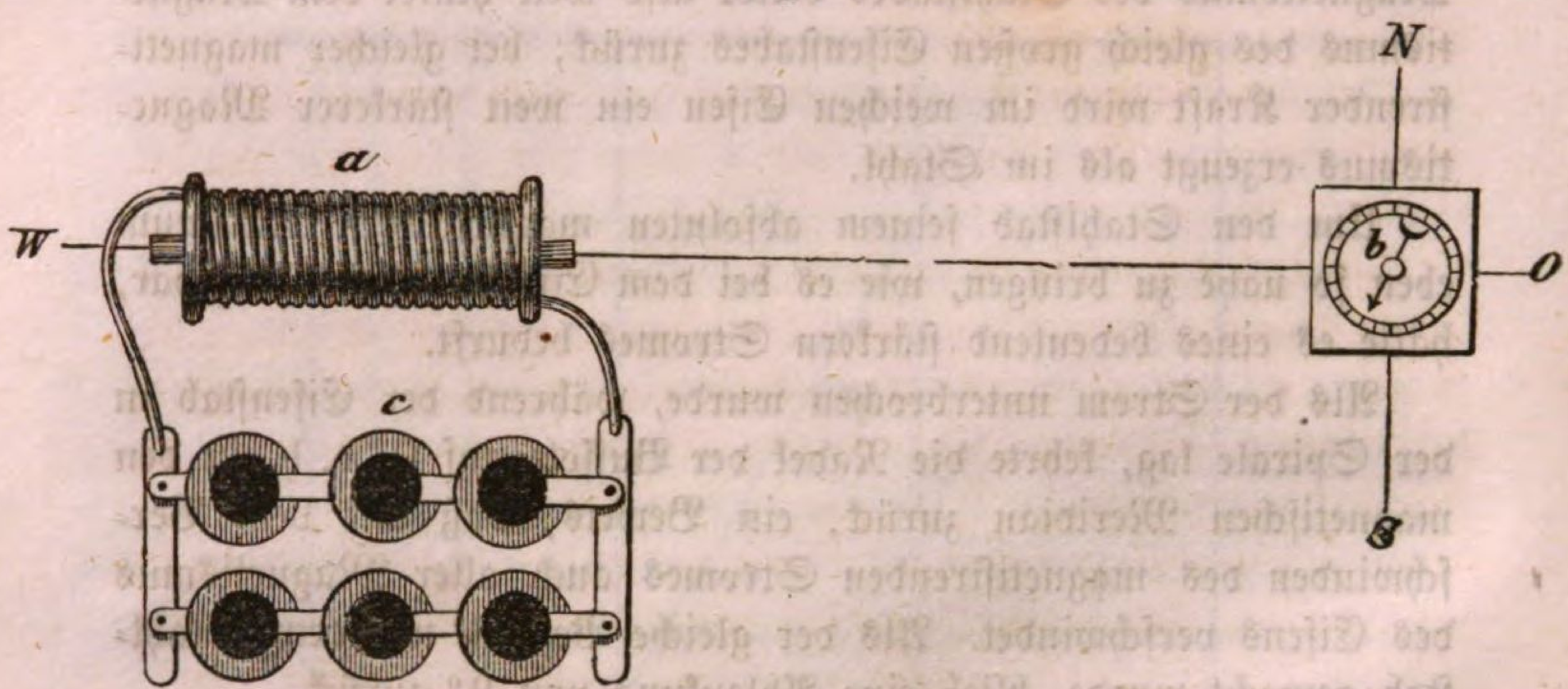
Vierter Brief.

Eindringen des Magnetismus in das Innere der Eisenkerne; Theorie des Magnetismus.

Feilitzsch hat die Magnetisirung des Eisens durch den elektrischen Strom von einer andern Seite her untersucht und hat gefunden, daß der Magnetismus durchaus nicht gleichförmig im Querschnitte der Elektromagnete vertheilt ist, sondern daß die äußeren Schichten einen stärkeren Magnetismus zeigen als die inneren; daß bei schwacher magnetisirender Kraft nur in den äußeren Schichten eine magnetische Erregung stattfindet.

Um die von Feilitzsch erhaltenen Resultate nachzuweisen, kann man sich ebenfalls des in umstehender Fig. 4 abgebildeten Apparates bedienen; nur werden in die Höhlung der Spirale statt des

Fig. 4.



massiven Eisenkernes eine Reihe aus Eisenblech verfertigter hohler Cylinder eingeschoben, von welchen immer einer genau in den andern paßt. Wir wollen den weitesten dieser Cylinder mit 1, den in diesen passenden mit 2, den folgenden mit 3 u. s. w. bezeichnen.

Als ein schwacher Strom durch die Spirale hindurchging, brachte sie eine Ablenkung von $1^1/_4{}^\circ$ hervor. Die Ablenkung stieg

auf $15^1/_4{}^\circ$ als der Cylinder Nr. 1,
" $17^1/_2{}^\circ$ als die Cylinder Nr. 1 und 2,
" 18° " " " Nr. 1, 2 und 3,
" 18° " " " Nr. 1, 2, 3 u. 4

in die Hülse eingeschoben wurden. Man sieht, wie schon der Magnetismus des zweiten Cylinders sehr schwach war im Vergleich zu dem des ersten; noch weit schwächer war der des dritten; der vierte endlich zeigt gar keinen Magnetismus mehr.

Wurde dagegen ein Strom durch die Spirale geleitet, welcher so stark war, daß die magnetische Wirkung der Spirale allein schon eine Ablenkung von 9° hervorbrachte, so stieg die Ablenkung

auf 46° als der Cylinder Nr. 1,
" 58° als die Cylinder Nr. 1 und 2,
" 62° " " " Nr. 1, 2 u. 3,
" 63° " " " Nr. 1, 2, 3 u. 4,
" $63^1/_4$ " " " Nr. 1, 2, 3, 4 u. 5

in die Hülse eingeschoben wurden.

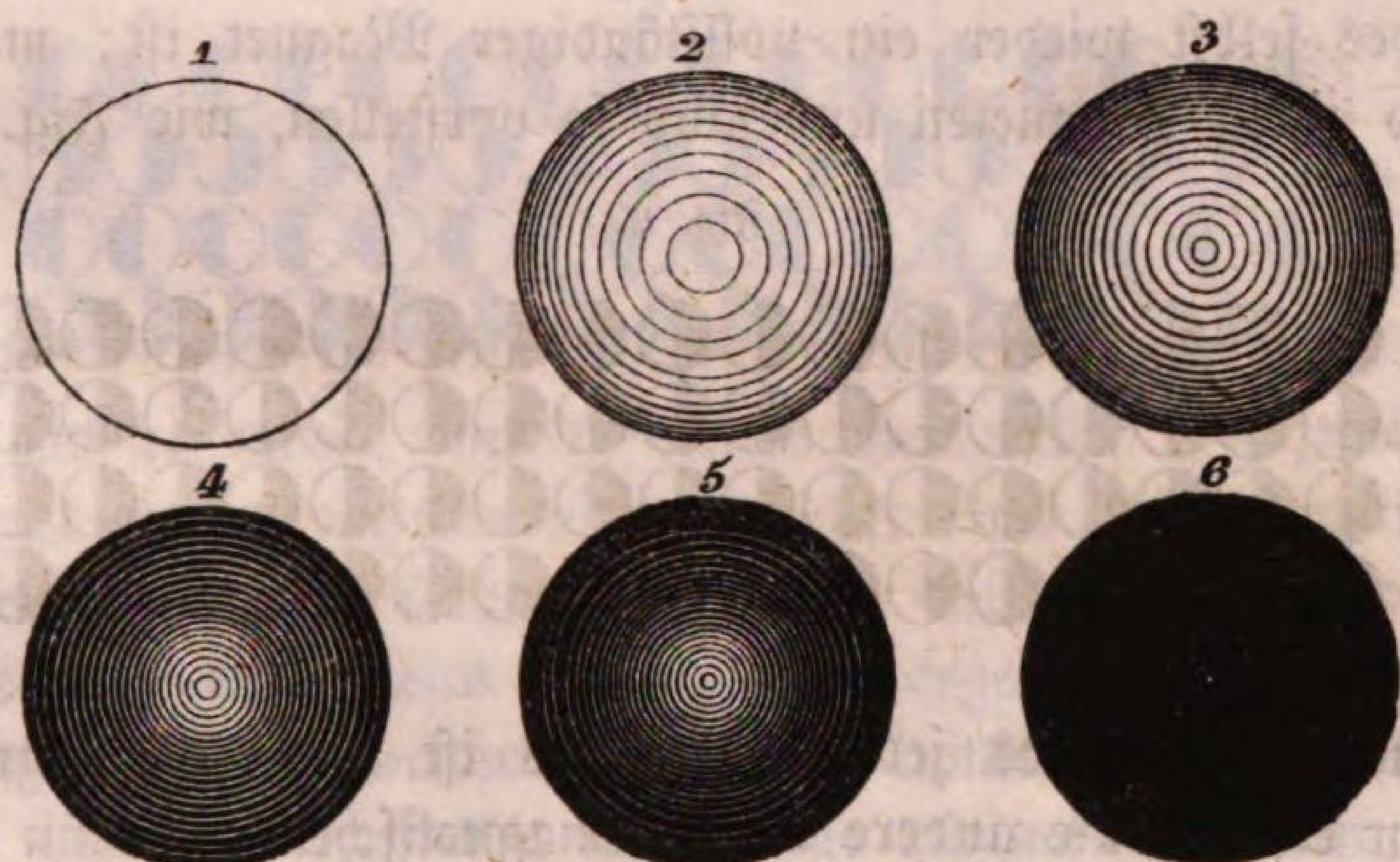
Diese Versuche bestätigen die von Feilitzsch ausgesprochenen

Sätze über die Vertheilung des Magnetismus im Querschnitt von Eisenstäben vollkommen.

Bei mehr und mehr gesteigerter Stromstärke werden natürlich zuerst die äußersten Schichten die Grenze der Magnetisirbarkeit erreichen.

Um den magnetischen Zustand im Querschnitt eines durch die Magnetisirungsspirale magnetisirten Eisenstabes bei verschiedener Größe der magnetisirenden Kraft anschaulich zu machen, dienen die beistehenden Figuren. Die weißen Stellen sind diejenigen, in

Fig. 5.



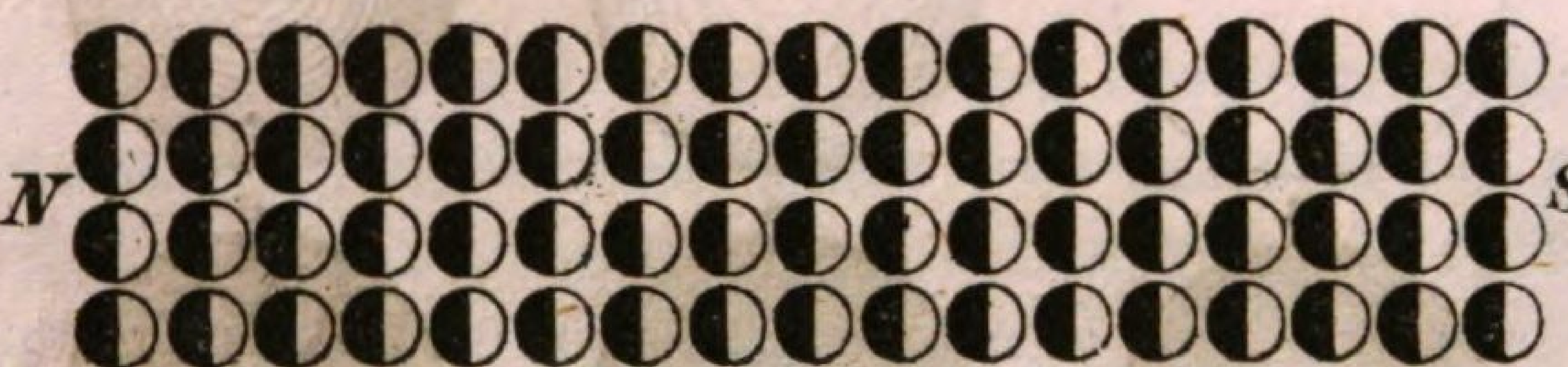
welchen noch gar keine magnetische Erregung stattfindet, während diejenigen, in welchen die magnetische Erregung ihr Maximum bereits erreicht hat, ganz schwarz gemacht sind; im Uebrigen ist die Schattirung um so dunkler, je stärker die magnetische Erregung. 1 stellt den Querschnitt eines ganz unmagnetischen, 6 den eines bis zum Maximum magnetisirten Stabes dar; die übrigen vier Figuren beziehen sich auf die zwischen diesen Extremen liegenden Zwischenzustände.

Jedenfalls sind die Versuche von Feilitzsch eine Bestätigung der im vorigen Briefe ausgesprochenen Behauptung, daß die Stärke des Magnetismus in jedem Eisentheilchen über eine gewisse Grenze nicht getrieben werden könne. Dieß Resultat fanden auch viele andere Physiker bestätigt, welche über diesen Gegenstand experimentirten, namentlich der Engländer Joule und Wilhelm Weber, welch letzterer die entsprechenden Versuche mit der größten Sorgfalt und Genauigkeit anstellte.

Weber knüpft an das Faktum, daß es ein Maximum der Magnetisirbarkeit gebe, eine Discussion über die verschiedenen theoretischen Ansichten an, aus denen man die magnetischen Erscheinungen zu erklären versucht. Ich will das Wichtigste dieser Betrachtungen hier etwas hervorheben.

Führt man die Erklärung der magnetischen Erscheinungen auf magnetische Flüssigkeiten zurück, welche ähnlich wie die elektrischen Fluida die Eigenschaft haben, daß sich die gleichnamigen Theilchen abstoßen, die ungleichnamigen aber anziehen, so muß man sich einen Magneten vorstellen als zusammengesetzt aus Molekülen, von welchen jedes selbst wieder ein vollständiger Magnet ist; man kann sich also einen Magneten ungefähr so vorstellen, wie Fig. 6 zeigt.

Fig. 6.



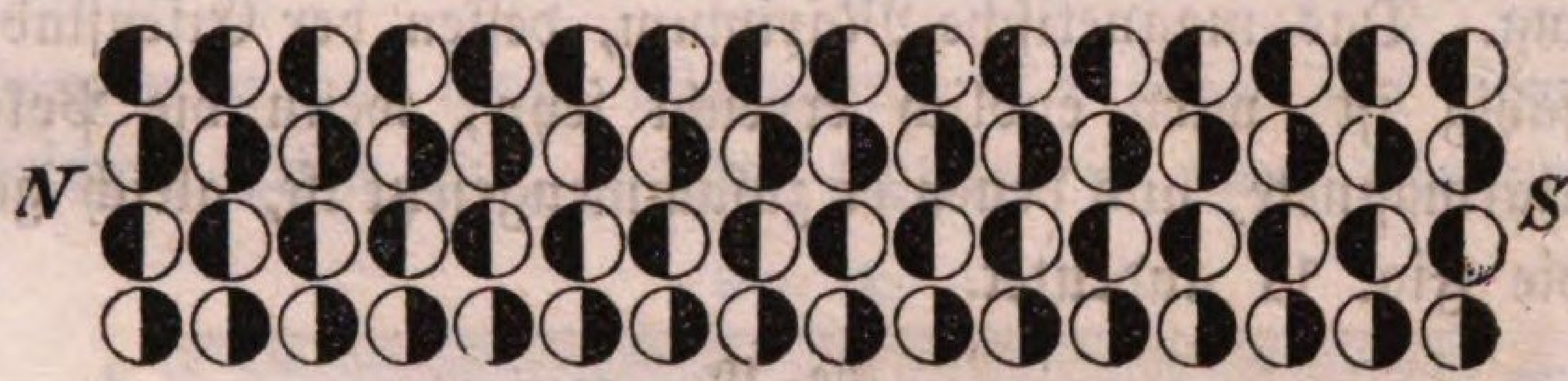
Die eine Hälfte eines jeden Moleküls ist mit nordmagnetischem Fluidum erfüllt, die andere mit südmagnetischem. Wenn nun die Vereinigung solcher Molekularmagnete einen Magnetstab bilden soll, so müssen die Nordhälften aller Partikelchen nach der einen, die Südhälften nach der andern Seite zugekehrt seyn, wie es unsere Figur zeigt, wo die schwarzen Hälften die nordmagnetischen, die weißen die südmagnetischen darstellen sollen.

Wie aber hat man sich den natürlichen, nicht magnetischen Zustand des Eisens oder des Stahles zu denken? Wir haben hier die Wahl zwischen zwei Möglichkeiten. Entweder ist im natürlichen Zustande jedes einzelne Eisen- oder Stahltheilchen selbst unmagnetisch, in jedem Molekül sind die beiden magnetischen Fluida gleichförmig verbreitet, an keiner Stelle des Moleküls herrscht das eine oder das andere Fluidum vor. Eine Magnetisirung ist alsdann die Folge einer Scheidung der bis dahin verbundenen magnetischen Flüssigkeiten in der Weise, daß das nordmagnetische Fluidum mehr nach der einen, das südmagnetische Fluidum mehr nach der andern Seite des Moleküls getrieben wird.

Man kann sich aber auch vorstellen, daß jedes Eisen- oder

Stahltheilchen stets ein vollständiger Magnet, von unveränderlicher Polarität ist, die eine Hälfte also stets nordpolarisch, die andere Hälfte stets südpolarisch; daß aber diese Molekularmagnete drehbar sind. Im natürlichen Zustande des Eisens oder Stahles sind nun die gleichen Pole der einzelnen Molekularmagnete nach verschiedenen Seiten gerichtet, und zwar in der Weise, daß keine Polarität nach einer Seite hin vorherrschen kann. Eine solche Anordnung könnte etwa von der in Fig. 7 anschaulich gemachten Art seyn. Die oberste Reihe von Molekularmagneten bedingt einen

Fig. 7.

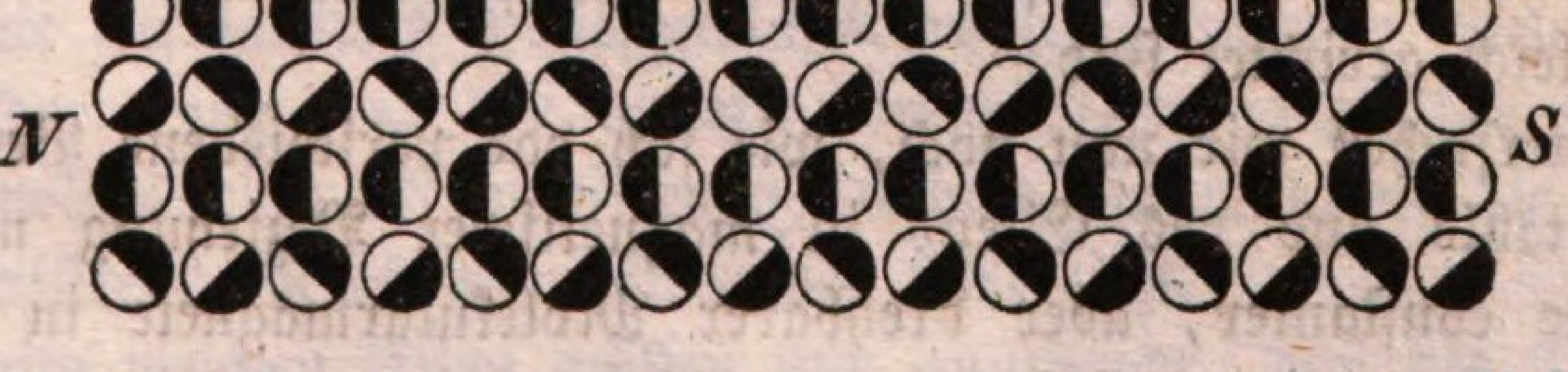


Nordpol auf der Seite von N; ebenso die dritte. Die zweite und vierte Reihe kehren dagegen ihren Südpol nach N, so daß sich die Wirkungen dieser vier Reihen nach Außen vollständig neutralisiren.

Wirkt nun auf dieses in Fig. 7 dargestellte Aggregat von Molekularmagneten, welches einen im natürlichen Zustande befindlichen Eisenstab darstellen mag, eine magnetische Kraft, deren Streben dahin geht, auf der Seite N einen Nordpol zu erzeugen, so wird diese Kraft dahin wirken, die Molekularmagnete der zweiten und vierten Reihe zu drehen, und der Magnetismus des Eisenstabes wird dann um so kräftiger seyn, je vollständiger jene Drehung bewerkstelligt wird.

Sind die Molekularmagnete der zweiten und vierten Reihe etwa so gedreht, wie Fig. 8 zeigt, so sind diese Reihen nicht mehr im vollständigen Gegensatz zu den Reihen 1 und 3, die Polarität der Reihen 1 und 3 beginnt also vorzuherrschen.

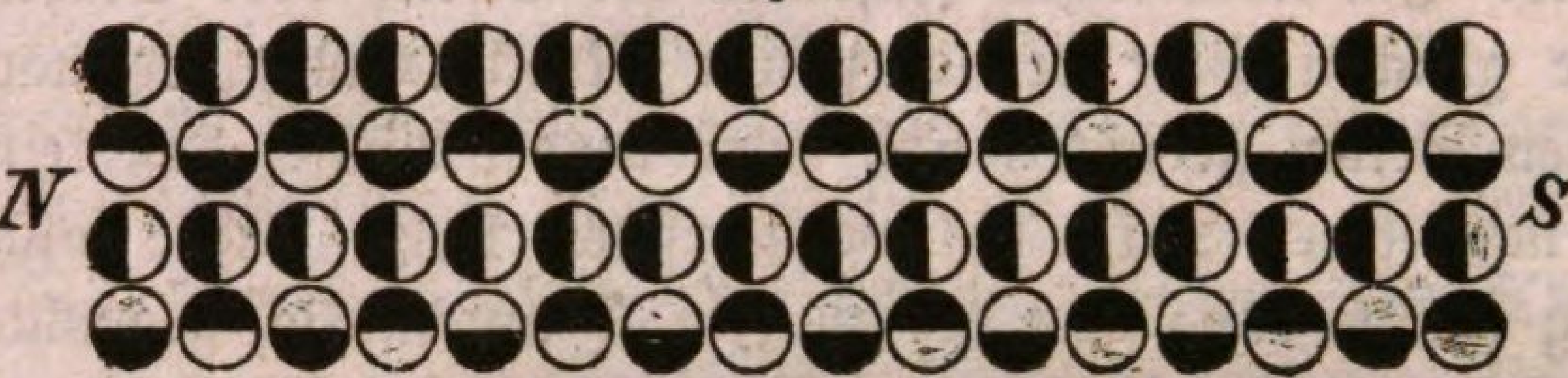
Fig. 8.



Sind die Molekularmagnete der zweiten und vierten Reihe um 180° gegen ihre ursprüngliche Stellung, also so weit gedreht, wie

Fig. 9 andeutet, so zeigen die Reihen 2 und 4 für sich gar keine Polarität; es kann also die Polarität von 1 und 3 ungeschwächt zur Wirkung kommen.

Fig. 9.



Die Fig. 10 entspricht einer noch weiter vorgeschrittenen Magnetisirung. Das magnetische Maximum, dessen der Eisenstab überhaupt fähig ist, wird endlich erreicht seyn, wenn die Pole aller Molekularmagnete, aus denen er zusammengesetzt ist, gleich gerichtet sind, wie Fig. 11 andeutet.

Fig. 10.

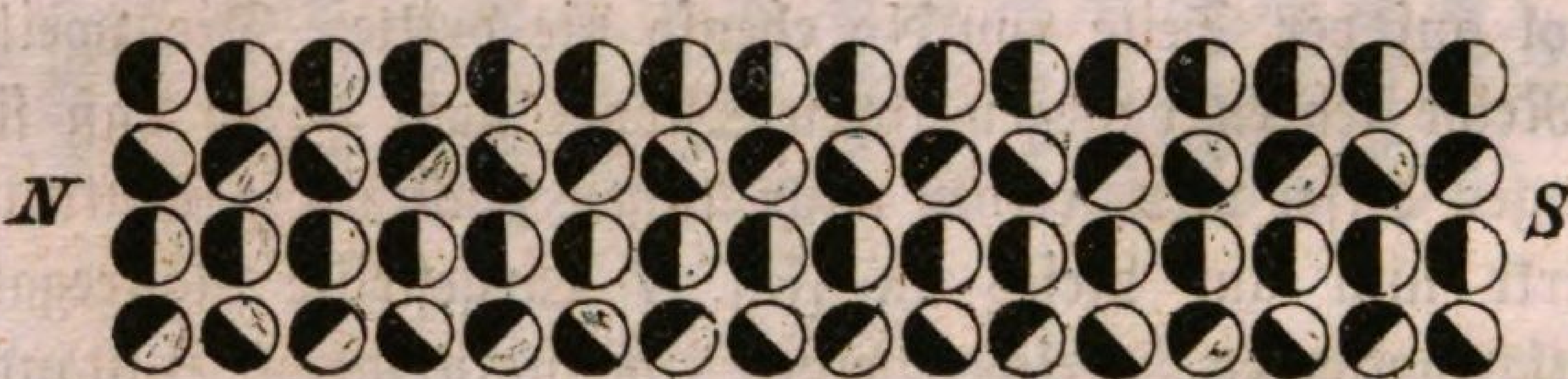
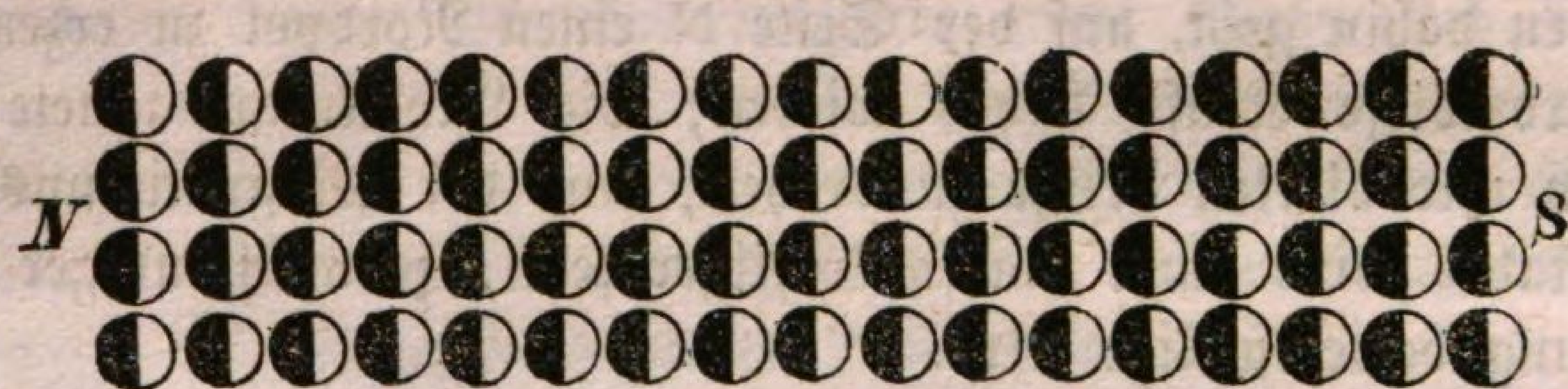


Fig. 11.



Sie sehen, wie einfach und leicht sich nach dieser zweiten Hypothese, nämlich nach der Annahme von constanten und drehbaren Molekularmagneten darthun läßt, daß es für jeden Eisen- oder Stahlstab ein Maximum der Magnetisirbarkeit geben müsse, welches erreicht ist, wenn alle Molekularmagnete vollkommen gleich gerichtet sind.

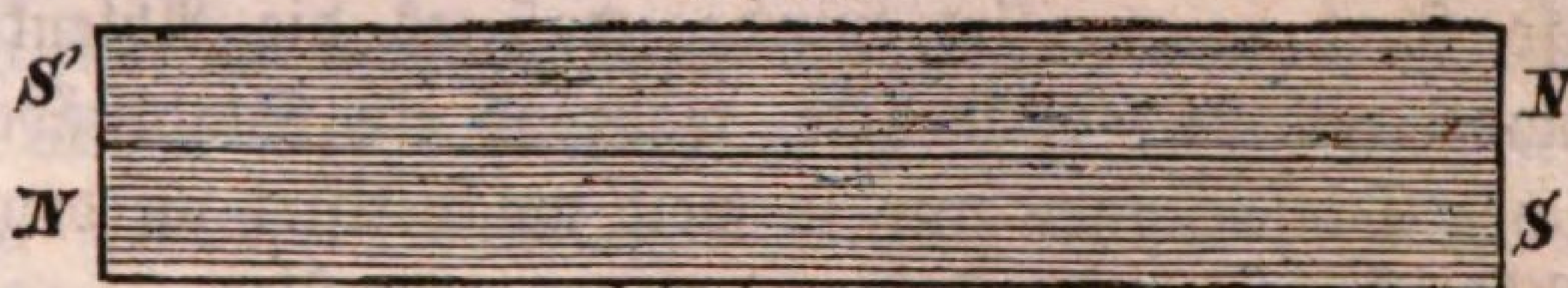
Untersuchen wir nun noch, wie sich das verschiedene Verhalten des Stahls und des Eisens in magnetischer Beziehung mit der Theorie constanter, aber drehbarer Molekularmagnete in Uebereinstimmung bringen läßt.

Wir müssen annehmen, daß im weichen Eisen schon die geringste

Kraft hinreicht, um eine Drehung der Molekülarmagnete zu bewirken. Wirkt nun von Außen her gar keine magnetisirende Kraft auf den Eisenstab, so ist die Stellung der einzelnen Molekularmagnete lediglich von ihrer gegenseitigen Einwirkung abhängig; jeder Nordpol eines Molekularmagneten wirkt aber abstoßend auf die Nordpole und anziehend auf die Südpole der benachbarten Molekularmagnete, und daraus ergibt sich denn eine solche gegenseitige Stellung derselben, daß nach Außen keine Polarität vorherrschen kann, kurz der sogenannte natürliche Zustand des Eisenstabes ist eine Folge der gegenseitigen Einwirkung der Molekularmagnetchen auf einander.

Wenn man auf einen Magnetstab N S (Fig. 12) einen Stab von weichem Eisen legt, so wird letzterer in einen Magneten von

Fig. 12.



entgegengesetzter Polarität verwandelt; dasjenige Ende des Eisenstabes, welches auf dem Nordpol des Stahlmagneten liegt, wird ein Südpol, und umgekehrt wird das Ende des Eisenstabes ein Nordpol, welches auf dem Südpol der Stahlmagnete liegt. Ebenso wird nun eine Reihe von Molekularmagneten, welche etwa, wie die oberste in den Figuren 7 bis 12 eine bestimmte Polarität hat, ein Streben zeigen, die Molekularmagnete der benachbarten Reihe so zu richten, daß diese zweite Reihe eine entgegengesetzte Polarität zeigt, und so kann dann nach Außen keine Polarität vorherrschen.

Eine von Außen her wirkende magnetisirende Kraft strebt nun einen Theil der Molekularmagnete zu drehen, dieser Drehung aber widerstreben die übrigen, welche bereits der magnetisirenden Kraft entsprechend gerichtet sind; so wird also zwischen der äußeren magnetisirenden Kraft und der gegenseitigen Einwirkung der Molekularmagnete ein statisches Gleichgewichtsverhältniß bestehen, welches sich mehr der einen oder der andern Grenze (unmagnetischer Zustand oder vollständige Magnetisirung) nähert, je nachdem die äußere magnetisirende Kraft schwächer oder stärker ist.

Beim weichen Eisen müssen wir annehmen, daß die Drehung der Molekularmagnete an und für sich ohne merklichen Widerstand

stattfinden kann; deßhalb wird jede äußere magnetisirende Kraft eine ihrer Stärke entsprechende Magnetisirung des Eisens bewirken, und wenn diese äußere magnetisirende Kraft verschwindet, wird durch die gegenseitige Einwirkung der Molekularmagnete auf einander eine solche Drehung derselben erfolgen, daß der unmagnetische Zustand wieder hergestellt wird.

Ganz anders verhält es sich beim gehärteten Stahl. Um die magnetischen Erscheinungen desselben zu erklären, müssen wir annehmen, daß die Drehung der Molekularmagnete nicht ohne Ueberwindung eines besondern Widerstandes vor sich gehen kann. In diesem Widerstande ist das zu suchen, was man mit dem Namen Coërcitivkraft bezeichnet.

Sie haben im vorigen Briefe gesehen, daß bei gleichem Strom, welcher die Spirale (Fig. 2) durchfloß, ein eingeschobenes Eisenstäbchen so stark magnetisirt wurde, daß es die Ablenkung der Bussolennadel um 24° vermehrte, während ein Stahlstäbchen von ganz gleichen Dimensionen nur so weit magnetisirt werden konnte, daß die Ablenkung der Bussolennadel um 14° stieg.

Hätte man den Stahlstab oben so stark magnetisiren wollen, wie den Eisenstab, so wäre dazu eine weit größere magnetisirende Kraft nöthig gewesen. Der Stahlstab ist eines eben so starken Magnetismus fähig, wie der Eisenstab, die Molekularmagnete sind also im Eisen und im Stahl ganz gleich, und wenn bei gleichen magnetisirenden Kräften der Stahlstab in Beziehung auf die Stärke des Magnetismus zurückbleibt, so liegt der Grund davon nur darin, daß sich die Molekularmagnete im Stahl schwieriger drehen lassen.

Damit hängt dann auch die Erscheinung zusammen, daß der Stahlstab nicht in seinen natürlichen Zustand zurückkehrt, wenn die magnetisirende Kraft zu wirken aufhört. — Dem oben besprochenen Stahlstab z. B. blieb nach Unterbrechung des Stroms noch so viel Magnetismus, daß er noch eine Ablenkung von 9° an der Tangentenbussole hervorbrachte.

Sobald die äußere magnetisirende Kraft zu wirken aufhört, streben die Molekularmagnete sich gegenseitig so zu drehen, wie es dem sogenannten natürlichen, also dem unmagnetischen Zustand des Stabes entspricht. Die Kraft, mit welcher diese Drehung bewerkstelligt wird, nimmt begreiflicher Weise um so mehr ab, je mehr

sich die Molekularmagnete derjenigen Lage nähern, bei welcher der Stab nach Außen hin keine magnetische Polarität mehr zeigt. In einem Stahlstabe wird nun nach dem Verschwinden der äußern magnetisirenden Kraft die Drehung der Molekularmagnete zur Rückkehr in den natürlichen Zustand nun so weit fortschreiten können, bis die Kraft, mit welcher die Molekularmagnete einander weiter zu drehen streben, mit dem Drehungswiderstand im Gleichgewicht ist, und daher kommt es, daß der Stahl den Magnetismus nicht vollständig verliert, wie das Eisen.

Die Stärke des Magnetismus, welche ein Stahlstab zurückzuhalten im Stande ist, hängt von der Größe der Coërcitivkraft, nach unsrer Vorstellung also von der Größe des Widerstandes ab, welcher bei der Drehung der Molekularmagnete überwunden werden muß. Im gehärteten Stahl ist dieser Drehungswiderstand größer als im angelassenen; im weichen Eisen ist er verschwindend klein.

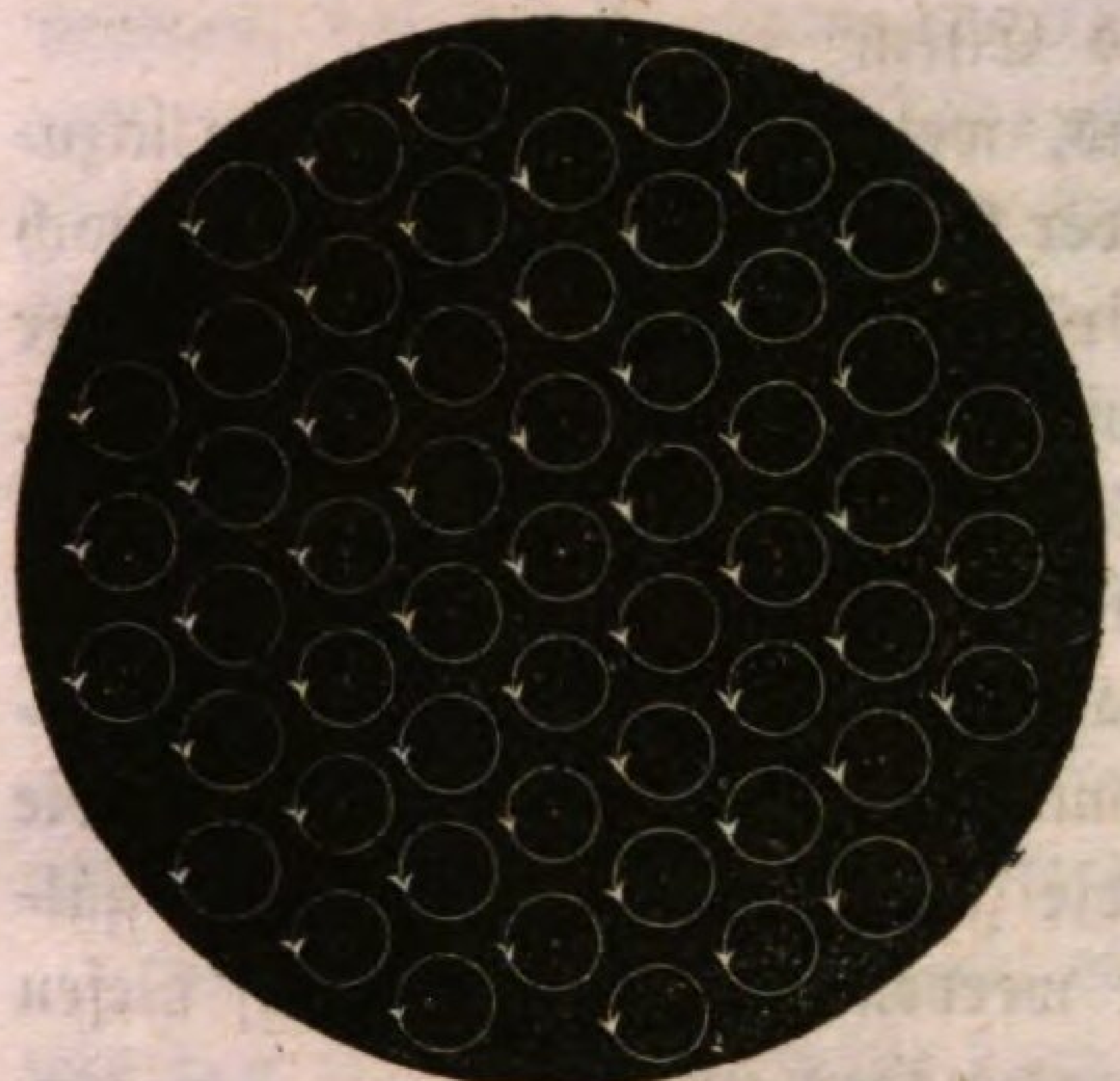
Im 52sten Briefe wurden ganz kurz die Grundzüge der Ampèr'schen Theorie des Magnetismus entwickelt, durch welche die magnetischen Erscheinungen auf die gegenseitige Wirkung von galvanischen Strömen zurückgeführt werden. Wir wollen auf diesen interessanten Gegenstand nun etwas näher eingehen.

Da im 52sten Briefe nur der Grundgedanke der Ampèr'schen Theorie entwickelt werden sollte, so wurden die hypothetischen Ströme als die ganze Masse des Eisen- oder Stahlstabs umkreisend angenommen. In dieser Weise können die Ströme nun freilich nicht existiren, denn Sie wissen, daß ein elektrischer Strom, welcher irgend einen Leiter durchlauft, dabei einen mehr oder minder bedeutenden Leitungswiderstand zu überwinden hat, daß also ein solcher Strom ohne fortdauernd wirkende elektromotorische Kraft nicht bestehen kann; ferner wissen Sie ja, daß wenn man einen Magneten vertheilt, jedes einzelne Theilchen wieder ein vollständiger Magnet ist, und so müssen wir denn, wenn wir die magnetischen Erscheinungen auf galvanische Ströme zurückführen wollen, Molekularströme annehmen, d. h. wir müssen annehmen, daß jedes einzelne Eisen- oder Stahlmolekül für sich von einem galvanischen Strom umkreist sey und daß der Strom auf diesem Wege, wo kein Uebergang von einem Eisentheilchen zu einem andern stattfindet, auch keinen Leitungswiderstand zu überwinden habe.

Sie werden nun leicht übersehen, daß sich alle magnetischen

Erscheinungen durch die Annahme constanter, aber drehbarer Molekularströme ganz in gleicher Weise erklären lassen, wie durch die Hypothese von constanten, aber drehbaren Molekularmagneten. Denken Sie sich in der obigen Auseinandersetzung überall nur den Ausdruck „Molekularmagnete“ mit „Molekularströme“ vertauscht, und Sie haben eine vollständige Ableitung der magnetischen Erscheinungen aus der Ampèr'schen Theorie.

Fig. 13.



Ein Eisenstab hat das Maximum seiner Magnetisirbarkeit erreicht, wenn alle Molekularströme parallel gerichtet sind. Fig. 13 soll dazu dienen, die Molekularströme im Querschnitt eines bis zum Maximum magnetisirten Eisenstabes zu versinnlichen.

Man kann sich nun die sämmtlichen Molekularströme eines Querschnitts des Magneten durch einen einzigen den Stab umkreisenden Strom ersetzt denken, dessen Wirkung in die Ferne gleich ist der Summe der Wirkungen aller einzelnen Molekularströme und dieß sind dann die Ströme, welche im 52sten Briefe besprochen wurden.

Wir haben also jetzt zwei Hypothesen zur Erklärung der magnetischen Erscheinungen, welche einander so vollkommen parallel laufen, daß man die aus einer Hypothese abgeleitete Erklärung nur durch Vertauschung einiger Ausdrücke auf die andere Hypothese übertragen kann. Durch Molekularströme erklären sich die bis jetzt besprochenen magnetischen Erscheinungen eben so vollständig und eben so leicht, wie durch Molekularmagnete; die Erscheinungen des Magnetismus im Eisen und im Stahl bieten also keinen Anhaltspunkt, um für die eine oder andere Hypothese zu entscheiden.

So gibt es ja auch eine Menge von Lichterscheinungen, welche sich eben so gut aus der Emanationstheorie ableiten lassen, wie aus der Vibrationstheorie, und deßhalb konnten beide Theorieen auch längere Zeit gleichberechtigt neben einander stehen. Erst das genauere Studium der Beugungserscheinungen führte hier zur Ent-

scheidung; daß Dunkelheit aus dem Zusammenwirken zweier Lichtstrahlen entstehen kann, läßt sich nur aus der Vibrationstheorie erklären.

Ob die Hypothese von Molekularmagneten oder die von Molekülarströmen die größere Wahrscheinlichkeit für sich hat, kann erst zur Entscheidung kommen, wenn in diesem Gebiete Erscheinungen aufgefunden werden, welche für die Lehre vom Magnetismus das sind, was die Interferenzerscheinungen für die Optik waren, wenn ein Phänomen entdeckt seyn wird, welches nur mit der einen Hypothese in Einklang zu bringen ist.

Nach Webers neuesten Untersuchungen dürfte eine solche Erscheinung in dem von Faraday entdeckten Diamagnetismus bereits gefunden seyn. *)

Fünfter Brief.

Diamagnetismus.

Nachdem Faraday die Erscheinungen der galvanischen Induction entdeckt hatte, welche bereits im 53sten Briefe besprochen worden sind, so gelangte er alsbald zu der Ansicht, daß der Strom im Hauptdraht eine beständige Wirkung auf den Nebendraht oder auf irgend einen andern benachbarten Körper ausüben müsse, wie ja auch das Eisen so lange magnetisch bleibt, als es dem Einfluß eines galvanischen Stromes ausgesetzt ist.

Den hypothetischen Zustand, in welchem ein (nicht magnetischer) Körper sich befinden soll, so lange er dem Einfluß eines galvanischen Stromes oder eines Magneten ausgesetzt ist, nannte Faraday den elektrotonischen Zustand. Der Inductionsstrom, welcher beim Schließen des Hauptdrahtes im Nebendraht entsteht,

---

*) Weber hat früher in den „Resultaten aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins im Jahr 1839" die Vermuthung zu begründen gesucht, daß die von ihm unter dem Namen der „unipolaren Induction" beschriebenen Erscheinungen zu einer solchen Entscheidung führen könnten, und zwar in der Weise, daß die unipolare Induction für die Molekülarmagnete spräche. Fortgesetzte Untersuchungen zeigten ihm aber, daß sich die fragliche Erscheinung auch mit der Annahme von Molekularströmen in Uebereinstimmung bringen läßt.

ist demnach nur eine Erscheinung, welche den Uebergang vom natürlichen Zustand in den elektrotonischen bezeichnet, während sich die Rückkehr aus dem elektrotonischen Zustand in den natürlichen durch den beim Oeffnen des Hauptstroms beobachteten Nebenstrom bemerklich macht.

Faraday war nun eifrigst bemüht, experimentelle Beweise für diesen elektrotonischen Zustand aufzufinden; sein Streben ging also dahin, Erscheinungen aufzufinden, welche beweisen, daß in den der Einwirkung eines galvanischen Stromes oder eines Magneten ausgesetzten Körpern Veränderungen eintreten, welche während der ganzen Dauer dieser Einwirkung verbleiben und welche erst verschwinden, wenn der Strom oder der Magnet zu wirken aufhört. Der Erfolg krönte seine rastlosen Bemühungen auf das Vollständigste. Im Jahr 1846 machte Faraday die Entdeckung der diamagnetischen Erscheinungen.

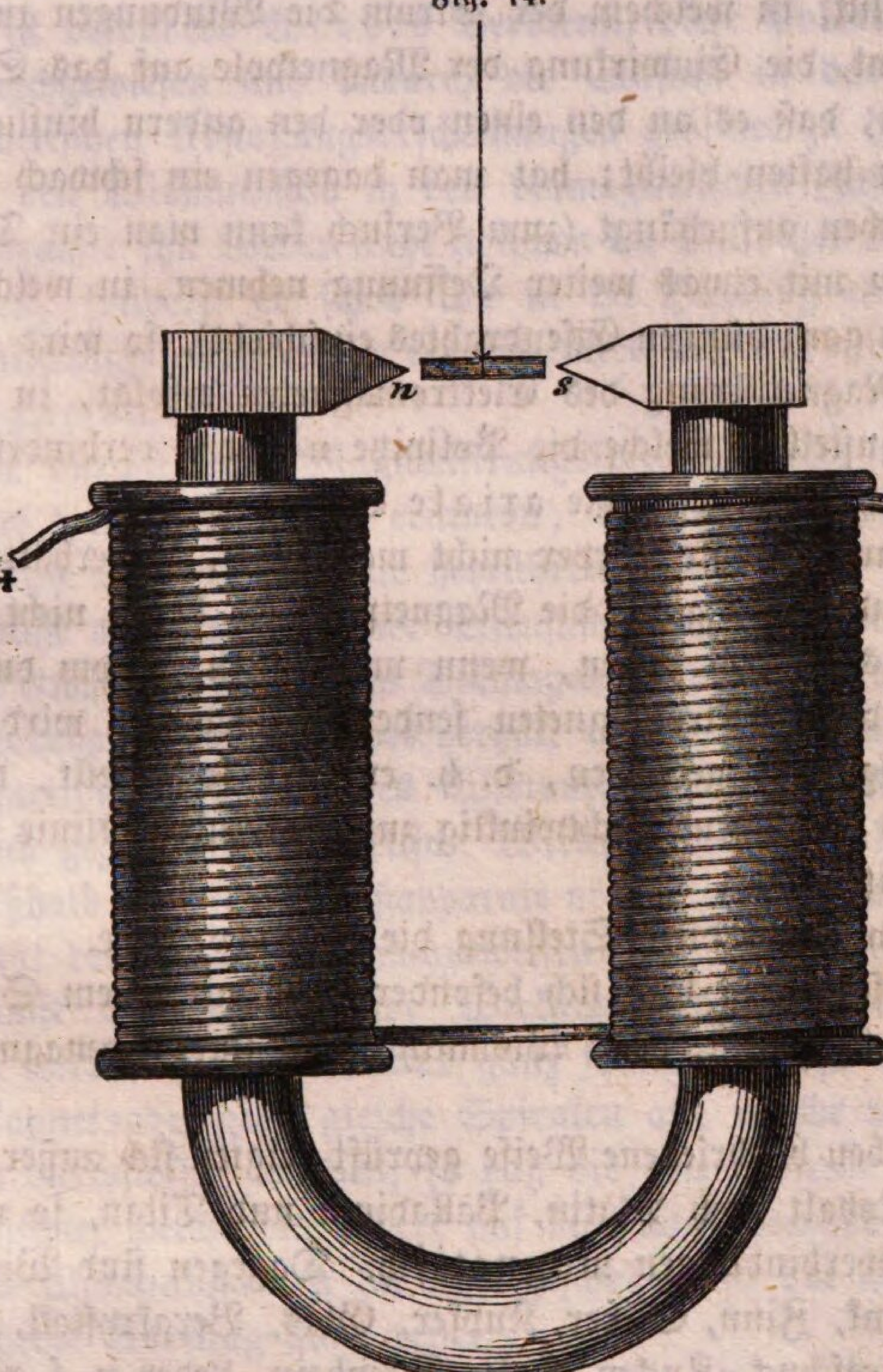
Faraday theilt in Folge dieser Entdeckung alle Körper in zwei Klassen, nämlich in magnetische, d. h. Körper, auf welche der galvanische Strom oder ein Magnet in gleicher Weise wirkt, wie auf das Eisen und den Stahl, und in diamagnetische, d. h. solche Körper, auf welche der galvanische Strom oder ein Magnet auf eine andere sogleich näher zu betrachtende Weise wirkt.

Die Drehung der Polarisationsebene in durchsichtigen diamagnetischen Körpern, welche durch die Einwirkung starker magnetisirender Kräfte hervorgebracht wird, haben wir bereits im fünften Briefe kurz betrachtet; wir wenden uns jetzt zu der bald nachher entdeckten Abstoßung diamagnetischer Körper durch kräftige Magnetpole, welche gerade in Beziehung auf die Theorie der magnetischen Erscheinungen von besonderer Wichtigkeit ist.

Nebenstehende Figur 14 stelle einen hufeisenförmigen Elektromagneten von ziemlich bedeutenden Dimensionen dar. (Der Durchmesser des Kerns betrage etwa einen Zoll.) Auf jeden Pol ist ein Stück weiches Eisen gelegt, welches auf einer Seite zugespitzt ist; diese aufgelegten Eisenstücke, deren Spitzen einander zugekehrt sind, wie es die Figur zeigt, bilden die Pole des Elektromagneten, bei n ist ein Nordpol, wenn bei s ein Südpol ist.

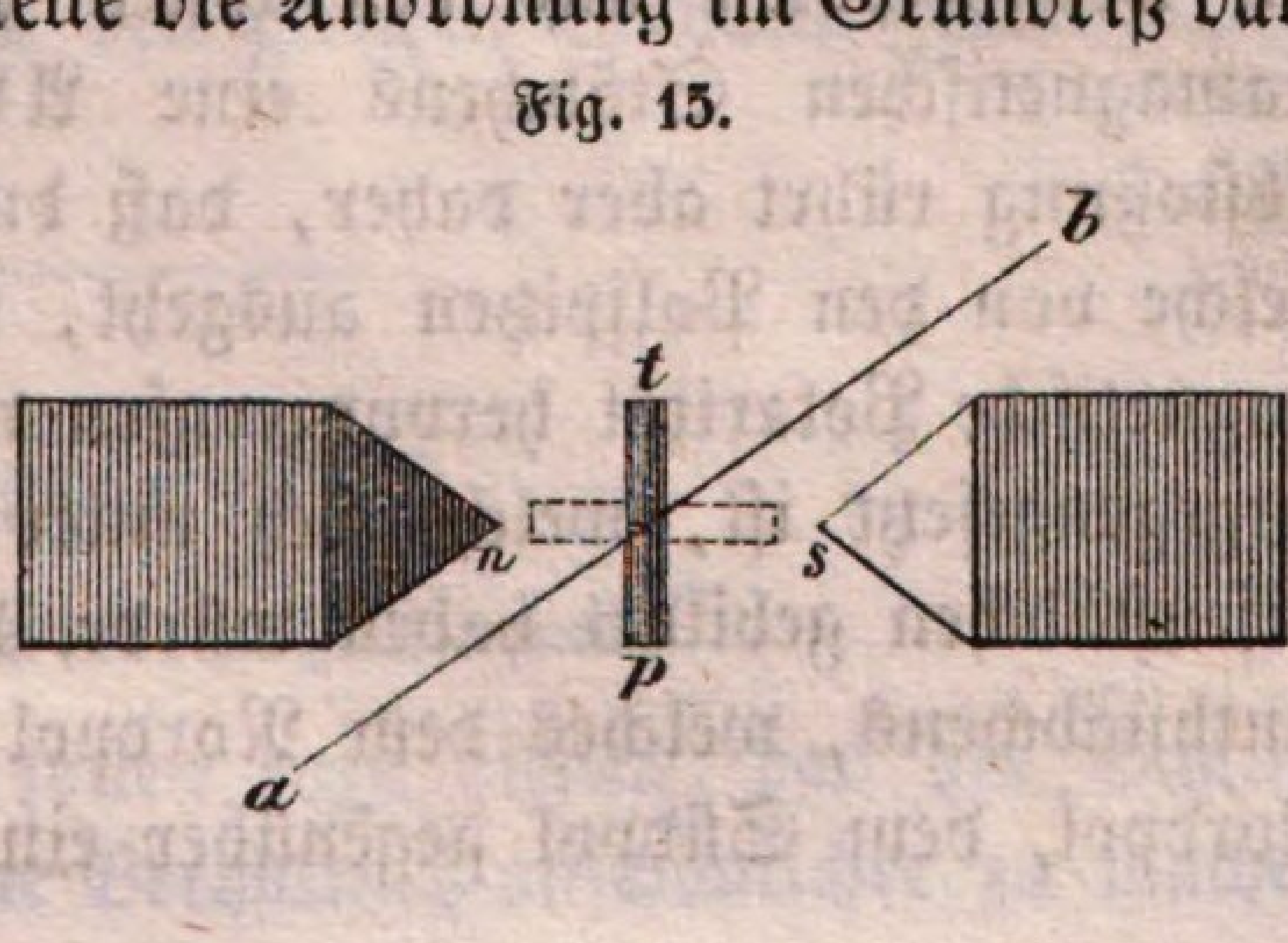
Zwischen die beiden Polspitzen wird nun, während der galvanische Strom die Windungen des Elektromagneten noch nicht durchläuft, der zu prüfende Körper, welcher am besten die Form eines

Fig. 14.



Stäbchens hat, an einem einfachen Seidenfaden aufgehängt und zwar so, daß in seiner Ruhelage die Längsaxe des Stäbchens ungefähr einen Winkel von 45° mit der Verbindungslinie der beiden Polspitzen macht. Fig. 15 stelle die Anordnung im Grundriß dar. Der Aufhängefaden ist zum Punkt verkürzt; ab sey die Richtung, welche die Axe des Stäbchens einnimmt, so lange kein Magnetismus in dem Eisenkern erregt wird. Hängt nun ein Eisenstäbchen zwischen den beiden Polspitzen, so wird in

Fig. 15.



dem Augenblick, in welchem der Strom die Windungen zu durchlaufen beginnt, die Einwirkung der Magnetpole auf das Stäbchen so stark seyn, daß es an den einen oder den andern hinfliegt und an demselben haften bleibt; hat man dagegen ein schwach magnetisches Stäbchen aufgehängt (zum Versuch kann man ein Thermometerröhrchen mit etwas weiter Oeffnung nehmen, in welche man ein Stückchen ganz dünnen Eisendrahtes einschiebt), so wird es sich, sobald die Magnetisirung des Elektromagneten erfolgt, in die gerade Linie einstellen, welche die Polspitze n und s verbindet.

Faraday nennt dieß die axiale Lage.

Ist der aufgehängte Körper nicht magnetisch, so verhält er sich keineswegs indifferent gegen die Magnetpole; er bleibt nicht in der Gleichgewichtslage ab stehen, wenn man einen Strom durch die Windungen des Elektromagneten sendet, sondern er wird in die Lage pt, Fig. 14, getrieben, d. h. er wird so gestellt, daß die Längsaxe des Stäbchens rechtwinklig zur Verbindungslinie ns der beiden Polspitzen ist.

Faraday nennt diese Stellung die äquatoriale.

Diese Erscheinung läßt sich besonders gut mit einem Stäbchen von Wismuth zeigen, denn Wismuth ist ein stark diamagnetischer Körper.

Auf die eben beschriebene Weise geprüft zeigten sich außer Eisen, Nickel und Kobalt noch Platin, Palladium und Titan, so wie die meisten Eisenverbindungen magnetisch. Dagegen sind Wismuth, Antimon, Zink, Zinn, Silber, Kupfer, Glas, Bergkrystall, Gyps, Salpeter, Kautschuck, Zucker, Holz, Elfenbein, Leder u. s. w. diamagnetisch.

Der Grund, warum sich diamagnetische Körper zwischen den Polspitzen äquatorial stellen, liegt nun darin, daß zwischen den Magnetpolen und den ihnen zunächst gelegenen Enden des diamagnetischen Stäbchens eine Abstoßung stattfindet; diese Abstoßung rührt aber daher, daß durch die magnetisirende Kraft, welche von den Polspitzen ausgeht, in dem Wismuthstäbchen eine magnetische Polarität hervorgerufen wird, welche derjenigen geradentgegengesetzt ist, welche sich unter gleichen Umständen in einem Eisenstäbchen gebildet haben würde, d. h. an dem Ende des Wismuthstäbchens, welches dem Nordpol zunächst liegt, bildet sich ein Nordpol, dem Südpol gegenüber ein Südpol.

Es ist besonders Webers Verdienst, diese Polarität im Wismuth nachgewiesen und dadurch die Einsicht in das Wesen der diamagnetischen Abstoßungserscheinungen geöffnet zu haben.

Um den Wismuthstab in den diamagnetischen Zustand zu versetzen, brachte ihn Weber nicht zwischen die Polspitzen eines Elektromagneten, sondern er schob ihn in die Höhlung einer kräftigen Magnetisirungsspirale ein, er experimentirte also mit einem Elektrodiamagneten.

Eine durchströmte Magnetisirungsspirale wirkt, wie Sie sich noch aus dem 3ten Briefe erinnern, ablenkend auf eine Bussole, doch ist die von der Spirale herrührende Ablenkung gering gegen die, welche ein eingeschobener Eisenstab bewirkt, namentlich wenn letzterer etwas dick ist. Beim Diamagnetismus eines in die Spirale eingeschobenen Wismuthstabes verhält es sich gerade umgekehrt, die diamagnetische Wirkung des Wismuthstabes ist unbedeutend im Vergleich gegen die magnetische Wirkung der Spirale selbst. Es sind deßhalb sehr feine Meßapparate nöthig, um die diamagnetische Polarität des Wismuths nachzuweisen.

Damit die überwiegende Wirkung der Spirale selbst nicht störend wirkte, brachte Weber ganz symmetrisch zu beiden Seiten der Magnetnadel ganz gleiche Spiralen an, welche von demselben Strom durchflossen wurden, so daß die eine Spirale die Wirkung neutralisirte, welche die andere auf die Nadel hervorbrachte. Wird nun ein Wismuthstab in die eine geschoben, so hat man seine diamagnetische Wirkung ganz rein.

Durch Versuche, welche nach dieser Grundidee ausgeführt waren, hat Weber die Gesetze der diamagnetischen Polarität auf's Vollständigste nachgewiesen, er hat gezeigt, daß ein Nordpol in dem in die Spirale eingeschobenen Wismuthstabe da entsteht, wo in einem eingeschobenen Eisenstabe unter den gleichen Verhältnissen ein Südpol entstehen würde.

Sechster Brief.

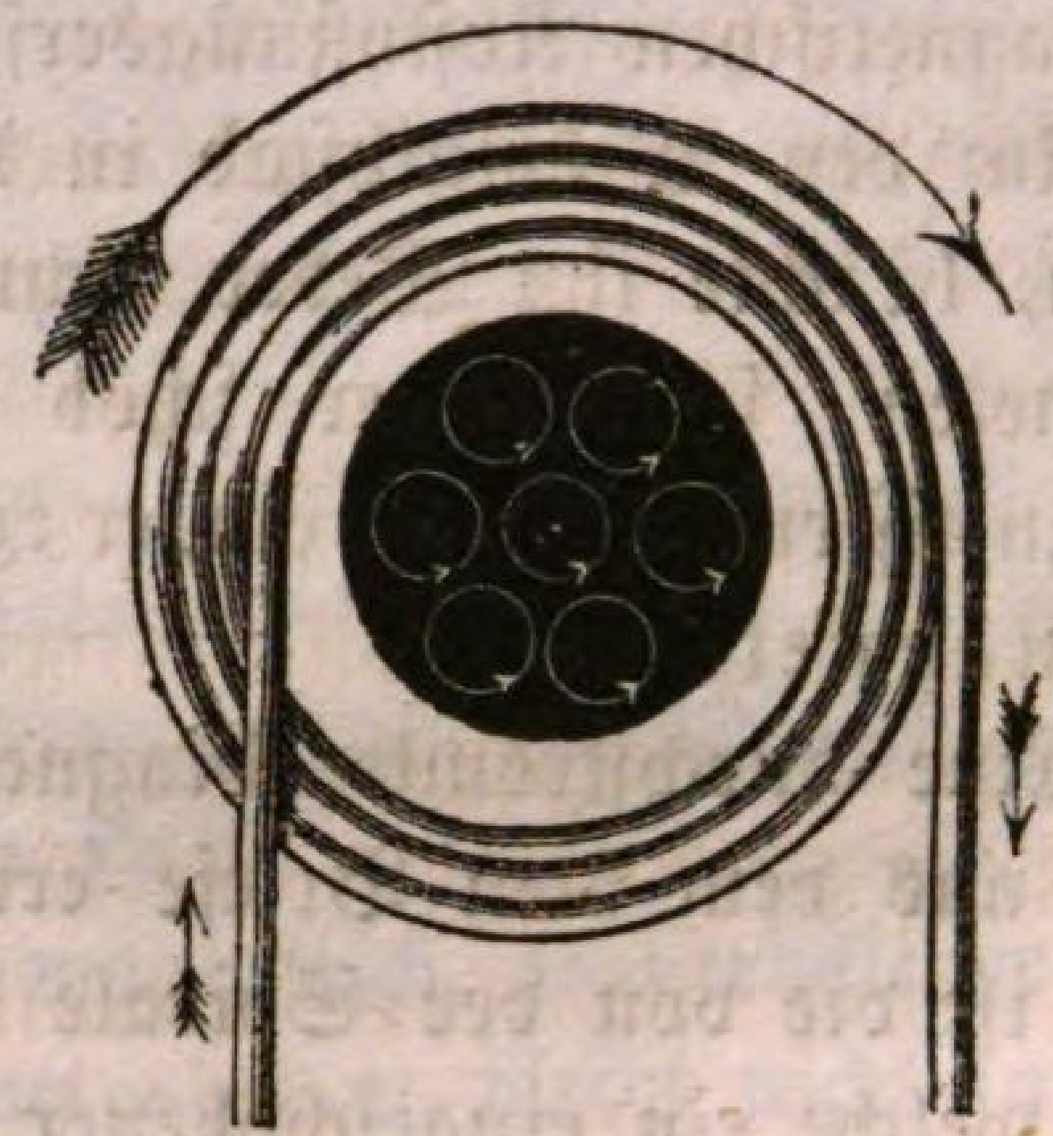
Theorie des Diamagnetismus.

Die Figuren 16 und 17 sollen dazu dienen, das am Schlusse des vorigen Briefes besprochene Verhältniß anschaulicher zu machen.

Fig. 16.
Elektromagnet.



Fig. 17.
Elektrodiamagnet.



Jede durchströmte Magnetisirungsspirale hat einen Nordpol und einen Südpol. Der Südpol liegt auf der Seite, von welcher her betrachtet der Strom die Spirale in der Richtung durchläuft, wie der Zeiger einer Uhr. Demnach stellen uns Fig. 16 und 17 die Magnetisirungsspirale, von der Seite ihres Südpols aus betrachtet, dar.

Wird ein Eisenstab eingeschoben, so bildet sich im Eisen ein Südpol auf derselben Seite, wo der Südpol der Spirale liegt; die Molekularströme im Eisen sind also gleichgerichtet mit dem magnetisirenden Strom, wie es Fig. 16 zeigt, welche einen Elektromagneten darstellt.

Wird aber ein Wismuthstab in die Spirale eingeschoben, so hat dieser seinen Nordpol auf derselben Seite, auf welcher der Südpol der Spirale liegt; die Molekularströme im Wismuth müssen also dem Strom in der Spirale entgegengesetzt seyn, wie dieß Fig. 17 zeigt.

Um nun aber zu verstehen, wie sich solche Molekularströme, wie man sie zur Erklärung der diamagnetischen Erscheinungen annehmen muß, bilden können, ist es nöthig, auf die Inductionsströme zurückzugehen, welche Sie bereits im 53sten Briefe kennen lernten.

In dem Moment, in welchem der Strom im Hauptdraht beginnt, wird im Nebendraht ein Strom von entgegengesetzter Richtung inducirt, welcher jedoch nur momentan ist.

Es ist nicht nöthig, daß der Hauptdraht und der Nebendraht auf derselben Spule neben einander aufgewunden sind, wie es

Fig. 70 (53ster Brief, Seite 161) dargestellt ist. Jeder der Drähte kann auf eine besondere Spule aufgewunden seyn, also eine gesonderte Spirale bilden, nur muß die Höhlung der einen Spirale so weit seyn, daß man die andere Spirale hineinstecken kann. In der Regel besteht die Hauptspirale aus wenigen Windungen eines dickeren, die Nebenspirale aus sehr vielen Windungen eines dünneren Drahtes.

Ist eine Drahtspirale auf eine metallene Hülse aufgewunden, so wird in dieser Hülse ebenfalls ein Strom inducirt in dem Momente, in welchem man die Drahtspirale in den Schließungsbogen einer galvanischen Säule oder auch nur eines einzelnen galvanischen Plattenpaares bringt, und zwar ganz nach denselben Gesetzen, nach welchen die Induction in der Nebenspirale stattgefunden hätte, wenn diese Nebenspirale in die Höhlung der Hauptspirale eingeschoben gewesen wäre, d. h. im Moment, in welchem der Strom in der Spirale beginnt, wird ein ihm entgegengesetzter in der Hülse inducirt.

Eine gleiche Induction findet aber auch in der Masse eines Metallstabes statt, welcher von einer Drahtspirale umgeben ist. In dem Moment, in welchem in der Spirale der Strom zu circuliren beginnt, entsteht ein vorübergehender Inductionsstrom von entgegengesetzter Richtung in der Masse des Metallstabes, wie dieß in Fig. 18 angedeutet ist.

Fig. 18.



Durch diese Inductionsströme wird aber offenbar dem Metallstab auch eine vorübergehende magnetische Polarität erzeugt, welche der eines Elektromagneten gerade entgegengesetzt ist, denn am Südende der Spirale bildet sich momentan ein Nordpol im Metallstab.

Der Strom in den Drahtwindungen übt nur ein Moment seines Entstehens oder Verschwindens eine elektromotorische Kraft auf die Nebenspirale, auf die Metallhülse oder auf den Metallstab aus. Der beim Beginn des Hauptstromes im Nebendraht, in der Hülse oder in dem Metallstab inducirte Strom muß demnach alsbald wieder verschwinden, weil er beim Durchlaufen seiner Bahn durch die Masse des Metalls hindurch, also von einem Molekül zum andern übergehend einen Leitungs-

widerstand zu überwinden hat. Um einen Strom in der Masse des Metalls zu unterhalten, müßte eine fortdauernde elektromotorische Kraft nöthig seyn.

Schon bei der Ampèr'schen Theorie des Magnetismus wird angenommen, daß die Molekularströme keinen Leitungswiderstand zu überwinden haben, daß sie deßhalb bleibend seyn können, ohne daß eine fortdauernde elektromotorische Kraft nöthig ist.

Nehmen wir nun an, daß durch das Entstehen des Stroms in der Spirale Molekularströme in dem eingeschobenen Wismuthstab inducirt werden, so werden diese Molekularströme dauern, bis eine entgegengesetzte Induction sie wieder aufhebt, sie werden also dauern bis zum Verschwinden des Stroms in der Spirale.

Wie das Entstehen und Verschwinden des Stroms in der Spirale, so wirkt auch das Entstehen und Verschwinden des Magnetismus in den Polen eines Elektromagneten auf ein benachbartes Wismuthstäbchen.

Der Unterschied zwischen magnetischen und diamagnetischen Körpern hat also dieser Theorie nach folgende Ursache. Die Moleküle aller magnetischen Körper sind stets von beharrlichen und drehbaren Molekularströmen umkreist. Eine magnetisirende Kraft sucht diese Molekularströme parallel zu stellen und dadurch eben die magnetische Polarität zu erzeugen.

Die Moleküle der diamagnetischen Körper sind in der Regel stromfrei, werden sie aber einer magnetisirenden Kraft ausgesetzt, so werden in ihnen Molekularströme inducirt, welche nicht drehbar sind und welche dauern, bis sie durch das Verschwinden der magnetisirenden Kraft wieder aufgehoben werden.

Sie sehen also, daß die Hypothese der Molekularströme sowohl die magnetischen als auch die diamagnetischen Erscheinungen zu erklären im Stande ist, was weder die Hypothese constanter und drehbarer Molekularmagnete, noch die frühere magnetische Vertheilungshypothese vermag.

Siebenter Brief.

Der Geysir auf der Insel Island.

Wenden wir nun unsere Blicke auf das Feld der Wärmelehre, betrachten wir die großartige Erscheinung des großen Geysirs auf der Insel Island und die klassische Erklärung, welche Bunsen von diesem wunderbaren Phänomen gegeben hat. Dieß Beispiel zeigt uns recht deutlich, wie die Gesetze, die durch unsere Versuche im physikalischen Kabinet ermittelt wurden, in der ganzen Natur ihre Geltung haben, wie ein richtig erkanntes Naturgesetz auf die einfachste Weise zur Erklärung der räthselhaftesten Erscheinungen führen kann, wenn man dieselben nur messend untersucht und dadurch eine rationelle Behandlung der Frage möglich macht.

Die eigenthümlichen Gegensätze in der Natur, welche auf der Insel Island im Zusammenwirken des nördlichen Klima's mit der innern Erdwärme entstehen, machen dieses Land zu einem der merkwürdigsten auf unsrer Hemisphäre. Die kochenden Springquellen des Geysir und des Strokkr; fernhin donnernde Vulkane, die mit lodernder Gluth und schwarzen hochaufwirbelnden Aschenwolken nicht selten zwischen ewigen Eisgefilden emporbrechen; halb erloschene Solfataren, brodelnde Schlammkessel, die oft in fantastischen Gestalten ihre Schollen über einander thürmen, haben hier schon seit längerer Zeit die Neugier der Reisenden auf sich gelenkt und die Thätigkeit der Naturforscher in Anspruch genommen.

Die neueste naturwissenschaftliche Expedition, welche Island bereiste, ist diejenige, welche im Jahr 1846 von der dänischen Regierung auf's Reichlichste mit allen nöthigen Hülfsmitteln unterstützt, mehrere Monate in diesem merkwürdigen Lande zubrachte. Dieser Expedition hatten sich auch zwei deutsche Gelehrte, Sartorius von Waltershausen aus Göttingen und Bunsen aus Marburg (jetzt in Heidelberg) angeschlossen.

Der Erstere hat uns in seiner „Physisch-geographischen Skizze von Island“, welche in den „Göttinger Studien von 1847“ erschien, aber auch noch als besonderer Abdruck in den Buchhandel kam, ein lebendiges Bild dieser wunderbaren Insel entfaltet.

Bunsen hat seine Geysir-Theorie und was damit in näherem Zusammenhange steht, in einem Aufsatze niedergelegt, welcher unter

dem Titel „Ueber den innern Zusammenhang der pseudo-vulkanischen Erscheinungen Islands“ im 62. Bande von Liebig's und Wöhler's „Annalen der Chemie und Pharmacie“ abgedruckt ist.

Alles, was sich in diesen Briefen auf die Beschreibung des Landes und auf die Schilderung des Geysir-Phänomens bezieht, habe ich meist wörtlich den eben genannten Quellen entnommen, denn es wäre ein thörichtes Bemühen, wenn ich das, was niedergeschrieben wurde unter dem Eindrucke jener eigenthümlich großartigen Natur, in andere Worte übersetzen wollte; es könnte dieß nur auf Kosten der Wahrheit und Frische des Bildes geschehen. Daß ich aber überhaupt, indem ich Bunsen's Geysir-Theorie zu entwickeln gedenke, etwas näher auf die Beschreibung des meist nicht genug bekannten Phänomens eingehe, daß ich dem Leser auch die Bühne des großen Naturschauspiels zeige, wird wohl keiner weitern Rechtfertigung bedürfen.

Die Insel Island ist durchaus vulkanischen Ursprungs; man findet auf derselben keine Schichten der Uebergangs- und secundären Formationen.

Vulkanische Tufflagen bilden das älteste Gestein Islands. Die Bildung dieses Tuffs ist der zunächst erfolgten Hebung des Trachyts und des Klingsteins vorangegangen, welche jedoch eine weit untergeordnetere Rolle spielen, als der Trapp, der die dritte großartige Hebungsperiode bezeichnet.

Die Trappgebilde erscheinen wieder von basaltartigen Gesteinen durchbrochen. Der letzten Periode endlich gehören die verschiedenen Laven an.

Unabsehbare Schneefelder decken die Kuppen der Gebirge, von welchen sich gewaltige, meilenbreite Gletscher herabsenken. Diese fast den zehnten Theil der Insel bedeckenden Eisberge sind es, welche die ungewöhnliche, für Islands Klima so bezeichnende Menge der atmosphärischen Niederschläge, Regen, Schnee u. s. w. veranlassen und in Verbindung mit den Strukturverhältnissen des Tuffgebirges den großen Quellenreichthum bedingen.

Ungeheure Wassermassen brechen aus den Spalten und Gewölben der Gletscher hervor oder stürzen sich in Cascaden von den Eiswänden herab und verwandeln nicht selten meilenweite Flächen in einen bodenlosen Geröllschlamm, in welchem sich die Fluthen verlieren,

ehe sie sich in begrenzten Flußbetten einen geregelten Abfluß bahnen. Unzählige Landseen, endlose Moore und Schlammflächen, welche dem Reisenden diese an sich schon erstorbene und öde Natur noch schauerlicher machen, sind eine Folge solcher Ueberfluthungen, welche über das Hochland der Insel die ungeheure Wassermenge verbreiten, welche den verschiedenen Quellensystemen zur Nahrung dient.

Trifft das abziehende Wasser auf vulkanische Klüfte und Spalten, so wird es von denselben jenen Tiefen zugeführt, wo unter dem Einflusse der vulkanischen Bodenwärme eine Erhitzung und Dampfbildung erfolgt. Das Wasser, durch die vereinigte Kraft der Dämpfe und des hydrostatischen Druckes gehoben, bricht dann in mächtigen Thermenzügen hervor.

Die isländischen Mineralquellen zeichnen sich vor allen übrigen in Europa durch einen großen Gehalt an Kieselerde aus, und lassen sich, wenn man die wenigen, auf den westlichen Theil der Insel beschränkten Säuerlinge ausschließt, nach ihren chemischen Eigenschaften in zwei Hauptgruppen theilen, von denen eine die sauren, die andere die alkalischen Kieselerdequellen begreift. Die ersteren gehören den eigentlichen Solfataren an und verdanken ihre äußerst schwach saure Reaktion mehr dem geringen Gehalt an Alaun als den unbedeutenden Spuren freier Schwefelsäure und Salzsäure. Sie enthalten außerdem schwefelsaure und salzsaure Salze, ferner Kieselerde und schweflige Säure oder statt derselben Schwefelwasserstoff. Diese Quellen sind besonders durch Quellenabsätze von Gyps und Schwefel charakterisirt.

Die alkalischen Quellen sind die verbreiteteren und bilden die periodischen Springquellen, Geysire, sowie den größten Theil der gewöhnlichen warmen und kochenden Quellen, welche man in Island mit dem Namen Hver bezeichnet. Ihre äußerst schwach alkalische Reaktion rührt von Schwefelalkalien und schwefelsaurem Kali und Natron her, welche der Kieselerde zum Lösungsmittel dienen und die für jene Quellen so charakteristischen Bildungen von Kieseltuff bedingen.

Die alkalischen Kieselquellen tragen nicht den unheimlichen Charakter jener wilden Verwüstung an sich, welche den Fumarolen und Solfataren mit ihren kochenden Schlammpfühlen und dampfenden Schwefelfeldern eigenthümlich ist. Das Auge ruht vielmehr

mit Wohlgefallen auf den weißen Ueberrindungen und Stalaktiten, die sich bald zu länglichen Wannen und großen Becken, bald zu runden Schachten von bewundernswürdiger Regelmäßigkeit gestalten.

In einer etwa zwei Meilen breiten Ebene, die sich vom Fuße des Blafall gegen das Ufer des Meeres hin erstreckt, liegt das Quellensystem des großen Geysir. Das weite Thal ist mit einem grünen Teppich üppiger Wiesengründe überkleidet. Der Blafall, welcher das Geysirthal im Nordosten schließt, liegt fern und blau, theilweise mit Schnee bedeckt über der Ebene. Gegen Ost und Südost erblickt man flache Hügel- und Bergreihen, über denen, von höheren Stellen aus gesehen, der Kegel des Hekla erscheint.

Der Geysir besitzt einen abgestumpften Eruptionskegel von aschgrauer Farbe. Das obere Ende dieses Kegels bildet ein flaches Becken von 48 Fuß Durchmesser, in dessen Mitte sich das Rohr des Kochbrunnens mit einem Durchmesser von 9 bis 10 Fuß bis zu einer Tiefe von 70 Fuß vertikal hinabsenkt. Daß sich von dem Boden des Geysirrohrs aus verborgene Kanäle weiter verzweigen, ist im höchsten Grade wahrscheinlich.

Unter den gewöhnlichen Verhältnissen ist das Becken mit krystallklarem, seegrünem Wasser gefüllt. Es läuft in drei kleinen Abflußrinnen über die nach Osten gewandte Böschung des Kegels ab.

Von Zeit zu Zeit vernimmt man ein unterirdisches Donnern, das, wenn auch viel weniger laut, doch dem sehr ähnlich ist, welches Vulkane während ihrer Ausbrüche von sich geben. Die Oberfläche des Geysirkegels wird dabei in eine zitternde Bewegung versetzt. Während diese Erscheinung einige Sekunden fortdauert, dann zuweilen momentan nachläßt, um desto stärker wieder zu beginnen, schwillt das Wasser im Becken, es wird nach Oben convex gewölbt und zu gleicher Zeit steigen große Dampfblasen auf, welche an der Oberfläche zerplatzen und das siedende Wasser einige Fuße hoch emporschleudern. — Darauf wird es still; ein dichter weißer Nebel bedeckt für kurze Zeit das Bassin, wird aber alsbald von einem leichten Winde fortgetrieben.

In regelmäßigen Zwischenräumen von 80 bis 90 Minuten wiederholt sich dieselbe Erscheinung, bis sie plötzlich einen etwas verschiedenen Charakter annimmt. Ein stärkeres Donnern aus der Tiefe wird vernommen, das Wasser schwillt im Bassin, schlägt hohe Wellen und wirbelt umher. In der Mitte erheben sich gewaltige

Dampfblasen und nach wenigen Augenblicken schießt ein Wasserstrahl, in feinen, blendend weißen Staub gelöst, senkrecht in die Luft. Es hat kaum die Höhe von 80 bis 100 Fuß erreicht und seine einzelnen Perlen sind noch im Zurückfallen begriffen, so folgt ein zweiter und dritter, höher emporsteigender dem ersten nach, größere und kleinere Strahlen verbreiten sich nach allen Richtungen; einige sprühen seitwärts, andere schießen senkrecht empor mit sausendem Zischen, wie die Raketen bei einem Feuerwerk. — Ungeheure Dampfwolken wälzen sich über einander und verhüllen zum Theil die Wassergarbe. — Nur noch ein Stoß, ein dumpfer Schlag aus der Tiefe, dem ein spitziger, alle anderen an Höhe überragender Strahl, manchmal auch mit Steinen begleitet, nachfolgt, und die ganze Erscheinung stürzt, nachdem sie nur wenige Minuten gedauert hat, in sich zusammen wie eine fantastische Traumgestalt beim Einbrechen des Morgens.

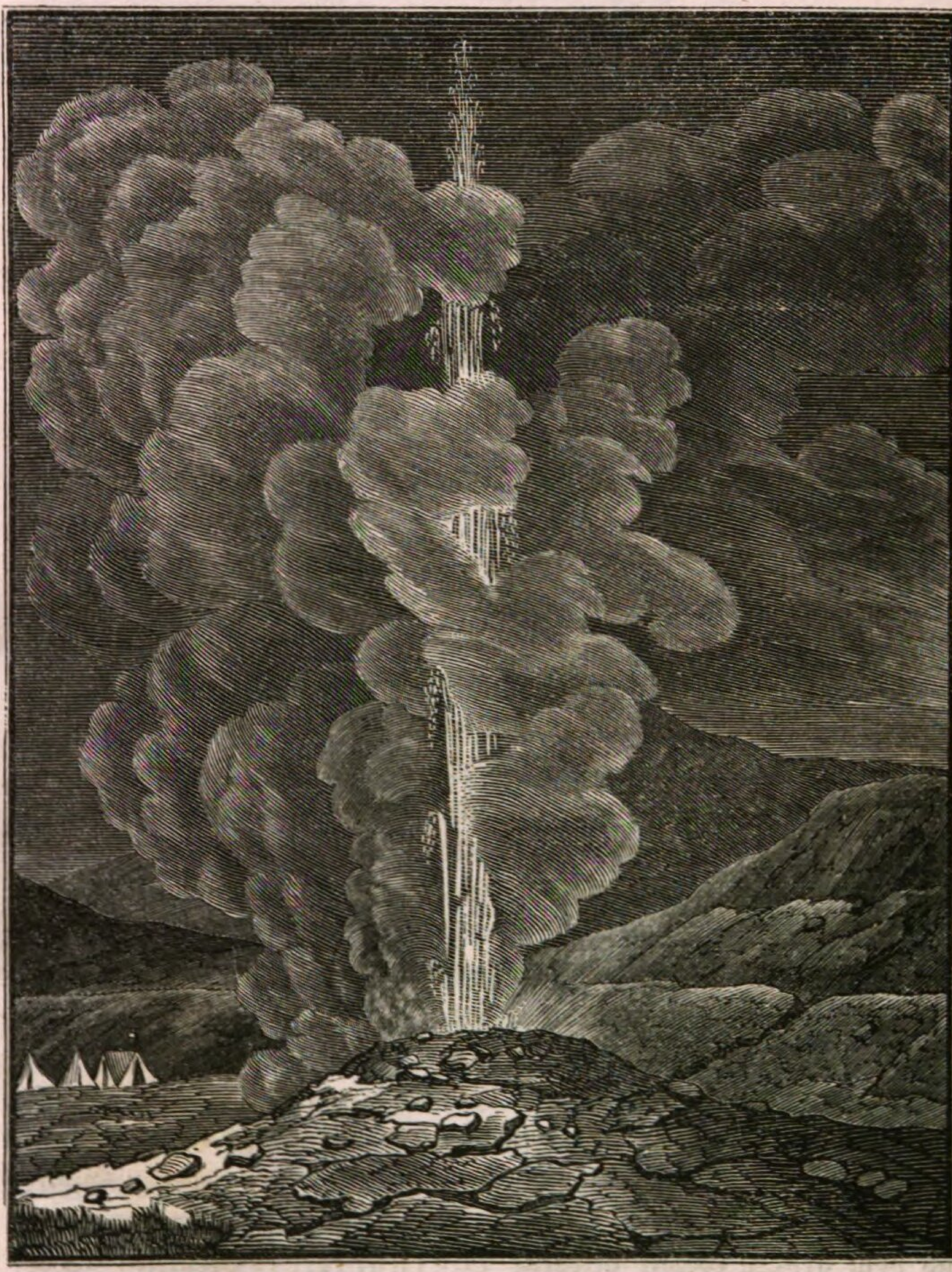
Nun liegt das vorhin ganz mit Wasser gefüllte Bassin trocken vor den Augen des herannahenden Beobachters, der in dem Rohre erst sechs Fuß unter dem Rande das Wasser ruhig und still erblickt.

Allmälig fängt das Wasser im Rohre wieder zu steigen an; nach einigen Stunden ist das Bassin wieder bis zum Ueberlaufen mit siedendem Wasser erfüllt. — Die Detonationen pflegen sich erst 4 bis 6 Stunden nach der Ausleerung des Beckens wieder einzustellen und nehmen alsdann ihren regelmäßigen Verlauf bis zu der folgenden Eruption, welche oft mehr als einen Tag auf sich warten läßt.

So geht das wunderbare Schauspiel Jahr aus Jahr ein ganz unabhängig von den Ausbrüchen des Hekla vor sich, die man wohl damit in Verbindung bringen wollte.

Die Abbildung des großen Geysirs (umstehende Fig. 19) ist nach einem naturgetreuen Oelgemälde kopirt, welches Bunsen von seiner isländischen Expedition mitbrachte. Der Berg, dessen Gipfel gerade von dem Wasserstrahl verdeckt wird, ist der fast genau westlich vom großen Geysir gelegene Bjarnarfell (Bärenfels). Der Hügel auf der rechten Seite ist der Laugarfjall, von welchem weiter unten noch einmal die Rede seyn wird. Auf der linken Seite des Bildes sieht man die Zelte, welche unseren reisenden Naturforschern zur Wohnung dienten.

Fig. 19.



Oestliche Ansicht des großen Geysirs auf der Insel Island.

Achter Brief.

Zusammenstellung der Thatsachen, welche zur Erklärung des Geysir-Phänomens von Wichtigkeit sind.

Wenden wir uns nun zur Untersuchung derjenigen Verhältnisse, welche für die Erklärung des Phänomens von Bedeutung sind.

Zunächst haben wir die Bildung des aus Kieselsinter bestehenden Eruptionskegels zu betrachten. — Der Quellenboden ist auch hier aus Tuff gebildet, welcher durch das heiße Wasser zerlegt wird; besonders unter dem Einfluß des kohlensauren Natrons und Kalis wird die Kieselerde gelöst, so daß die ursprüngliche Gesteinsmasse in eine Thonlage verwandelt wird, welche von den Kiesel-Inkrustationen der Quelle bedeckt ist. Von besonderer Wichtigkeit ist der Umstand, daß das Geysirwasser, selbst wenn es vollständig erkaltet, in Folge seines Gehalts an kohlensaurem Kali und Natron, noch keine Kieselerde absetzt, sondern daß es vollkommen klar bleibt. Eine Ausscheidung der Kieselerde erfolgt erst bei vollständiger Verdampfung des Wassers.

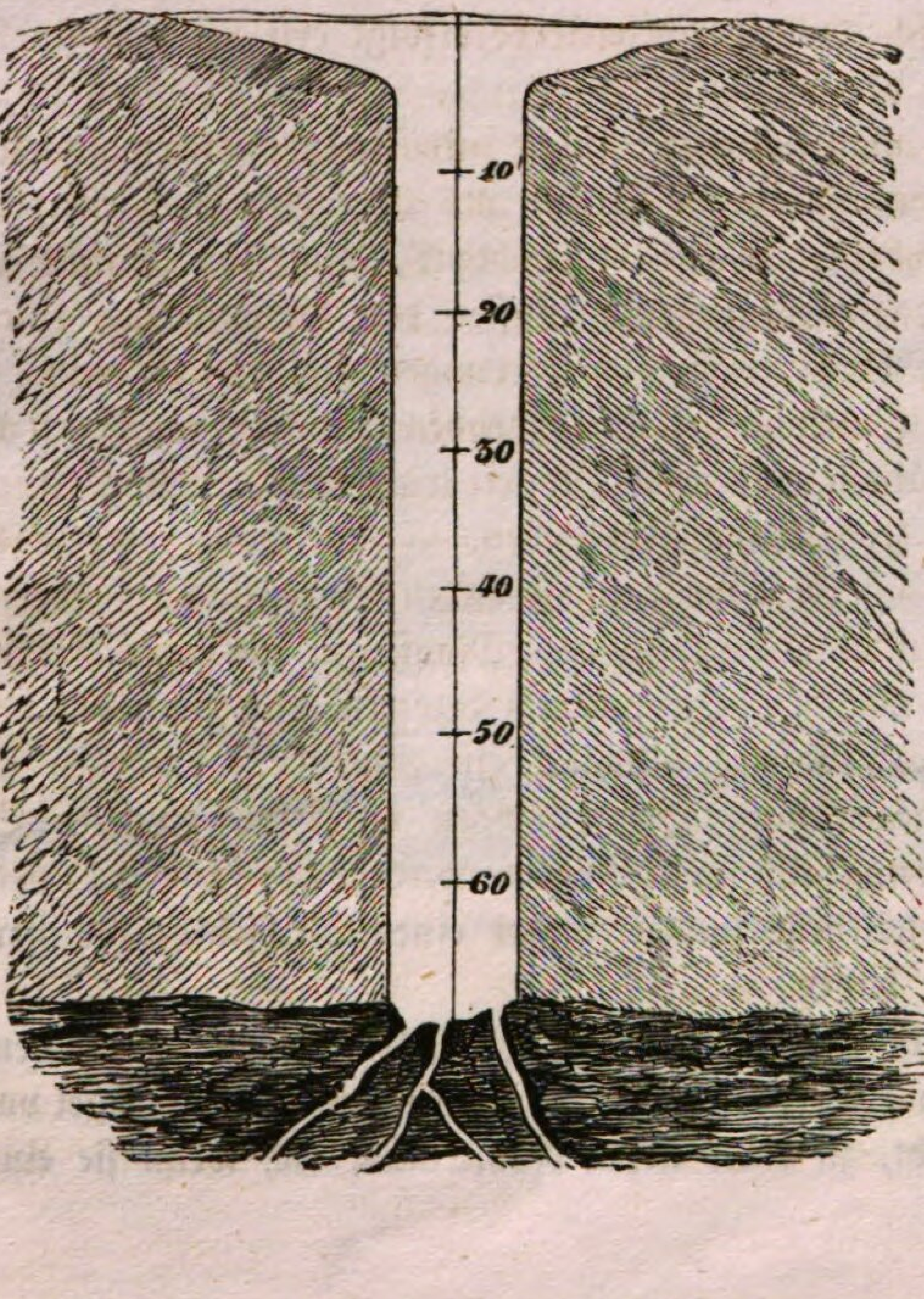
Denkt man sich eine einfache inkrustirende Thermalquelle, welche das Wasser von ihrem Bassin aus über eine flachgeneigte Bodenfläche ausgießt, so ist einleuchtend, daß das Bassin selbst, in welchem das stets erneute Wasser der Verdunstung eine geringe Oberfläche bietet, von Kieselbildungen frei bleiben muß, während seine den Wasserspiegel überragenden Ränder, an denen die durch Capillarität eingesogene Flüssigkeit leicht und schnell vertrocknet, sich mit einer Kieselkruste überkleiden. — Weiterhin, wo das Wasser sich auf der, die Quelle umgebenden Bodenfläche ausbreitet, nehmen die Inkrustationen in dem Maaße zu, als seine Verdunstungsoberfläche wächst. Die dadurch bewirkte Bodenerhöhung setzt dem Abfluß des Wassers allmälig ein Hinderniß entgegen und leitet dasselbe gegen den tieferen Boden hin, wo dasselbe Spiel der Sinterbildung sich von Neuem wiederholt, bis die veränderten Niveauverhältnisse immer wieder einen Wechsel des Wasserabflusses zur Folge haben.

Da das Quellenbassin an diesen Inkrustationen keinen Antheil nimmt, so baut es sich, indem es sich mit einem Hügel von Kieseltuff umgibt, zu einer tiefen Röhre aus, die, wenn sie eine gewisse

Höhe erreicht hat, alle Bedingungen in sich vereinigt, um die Quelle in einen Geysir, d. h. in eine Springquelle zu verwandeln.

Ist eine solche Röhre, je nachdem es das ursprüngliche Verhalten der Quelle mit sich brachte, verhältnißmäßig eng und wird sie von einer nicht zu langsam hervordringenden, durch vulkanische Bodenwärme von Unten stark erhitzten Wassersäule erfüllt, so muß eine continuirliche Springquelle entstehen; ist dagegen die durch den Inkrustationsprozeß gebildete Röhre hinlänglich weit, um von der Oberfläche aus eine erhebliche Abkühlung des Wassers zu gestatten, und tritt dann der weit über 100° erhitzte Quellenstrang nur langsam in den Boden der Röhre ein, so finden sich in diesen einfachen Umständen alle Erfordernisse vereinigt, um die Quelle zu einem Geysir zu machen, der periodisch durch plötzlich entwickelte Dampfkraft zum Ausbruch kommt und unmittelbar darauf wieder zu einer längern Ruhe zurückkehrt.

Fig. 20.



Der große Geysir ist die bedeutendste unter diesen Quellen, welche man gleichsam als natürliche Collectoren der Dampfkraft betrachten kann.

Fig. 20 stellt den vertikalen Durchschnitt des Geysirrohres dar. Der Kieselsinter des Hügels, in dessen Mitte sich das Geysirrohr befindet, ist von dem Quellenboden durch die hellere Schraffirung unterschieden. Der Maaßstab in der Mitte des Rohres mißt in Fußen die Tiefe vom Spiegel des gefüllten Beckens an gerechnet. Da der Verlauf des Quellenstranges, welcher von unten her dem Geysirrohre das heiße Wasser zuführt, nicht ausgemittelt werden kann, so ist er in der Figur willkürlich angedeutet.

Schon Lottin und Robert, welche im Jahr 1836 Island besuchten, haben gefunden, daß die Temperatur der Geysircolonne von Oben nach Unten zunimmt. — Bunsen und Descloizeaux aber haben durch zahlreiche Messungen die Temperaturverhältnisse des Geysirs auf das Genaueste ermittelt und dadurch den Grund zu der schönen Theorie der Geysir-Eruptionen gelegt, durch welche Bunsen die Wissenschaft bereichert hat.

An der Oberfläche ist die Temperatur des Wassers im Geysirbecken ziemlich veränderlich und von den Witterungsverhältnissen abhängig; im Mittel beträgt sie 85° C.

Innerhalb des Rohres steigt die Temperatur, kleine Störungen abgerechnet, an jedem Punkte der Säule während der ganzen Zeit von einer Eruption zur andern, wie man aus folgender Tabelle ersehen kann, welche aus den Resultaten der genannten Gelehrten ausgezogen ist.

Höhe über dem Boden.	23 Stunden vor einer großen Eruption.	5½ Stunden vor einer großen Eruption.	10 Minuten vor einer großen Eruption.	Siedpunkt für den jedesmaligen Druck.
1 Fuß	123,6°	127,5°	126,5°	136,0°
30 „	113,0	120,4	121,8	124,2
44 „	85,8	106,4	110,0	117,4
60 „	82,6	85,2	84,7	107,0

Wie aber, werden Sie fragen, war es möglich, die Temperatur des Wassers in der Tiefe des Geysirrohres zu messen? Folgendes

ist die überraschend einfache Methode, welche **Bunsen** hier in Anwendung brachte:

Ein gehörig graduirtes Thermometer wird an einem Punkte, über welchen die zu messende Temperatur gewiß hinausgeht, abgeschnitten. Gesetzt z. B. das Rohr sey bei 80 ° abgeschnitten, so wird, wenn das Thermometer in Wasser von 80 ° eingetaucht wird, das Quecksilber das ganze Rohr bis an's Ende vollständig ausfüllen. So zugerichtete Thermometer wurden nun in Blechhülsen gesteckt, auf welche oben ein Metalldeckel luftdicht aufgeschraubt werden konnte. Auf diese Weise gehörig verschlossen wurden die Blechhülsen sammt den eingeschlossenen Thermometern an Schnüren in die Tiefe hinabgelassen.

Ueber die Temperatur erhitzt, welche dem obern Ende der Röhre entspricht, muß nun natürlich ein Theil des Quecksilbers tropfenweise ausfließen, so daß später das Thermometer nicht mehr die richtigen Temperaturen angeben kann, sondern immer um eine bestimmte Anzahl von Graden zu wenig zeigt. Gesetzt man habe ein bei 80 ° abgeschnittenes Thermometer zum Versuch verwendet und dieses zeige aus der Tiefe hervorgezogen stets 30 ° zu wenig (im Wasser von 80 ° eingetaucht also nur 50 °), so kann man daraus schließen, daß die Temperatur, welcher das Thermometer in der Tiefe ausgesetzt war, 30 Grade über 80, also 110 Grade betragen habe.

Bei den Versuchen, deren Resultate oben theilweise mitgetheilt sind, waren die Thermometer immer erst nach einem halbstündigen Verbleiben an der bezeichneten Stelle des Geysirrohres hervorgezogen worden.

Die letzte Columne obiger Tabelle bedarf noch einer näheren Erläuterung, in Betreff derer ich aber etwas weiter ausholen muß.

In meinem fünften Briefe habe ich zwar schon erwähnt, daß man Wasser, welches etwa noch 50 ° warm ist, unter der Glocke der Luftpumpe durch Evakuiren wieder in's Kochen bringen kann. Es ist aber dort dieser Erscheinung nur im Vorübergehen erwähnt worden, um zu beweisen, daß auch im luftleeren Raume eine Dampfbildung stattfinden kann. Die Abhängigkeit des Siedpunktes vom Druck, welcher an der Stelle stattfindet, wo die Dampfbildung vor sich gehen soll, ist dort noch nicht näher besprochen worden. Die

Kenntniß dieser Abhängigkeit bedürfen wir aber zum Verständniß der Bunsen'schen Geysirtheorie.

Das Sieden oder Kochen einer Flüssigkeit besteht in nichts Anderem, als in einer durch die ganze Masse hindurchgehenden Dampfbildung im Gegensatz gegen die Verdunstung, bei welcher die Dampfbildung nur an der Oberfläche stattfindet. Wenn nun Wasser in irgend einem Gefässe in's Kochen kommt, so bilden sich die Dampfblasen am Boden des Gefässes und steigen dann in die Höhe, um über der Oberfläche zu zerplatzen.

Die rings von Wasser umgebene, sich eben bildende oder aufsteigende Blase ist mit Dampf erfüllt. Dieser Dampf muß offenbar eine solche Spannkraft haben, daß er den Druck überwindet, welcher die umgebende Flüssigkeit in den Raum der Blase hineinzupressen und also die Blase zu verkleinern strebt. Diese Kraft, dieser Druck macht sich auch in der That geltend, wenn die Flüssigkeit noch nicht bis zum vollen Kochen erwärmt ist. Am Boden bilden sich die Dampfblasen, sie steigen auf und gelangen in kältere Wasserschichten; hier nimmt die Spannkraft der die Blase bildenden Dämpfe wieder ab, sie werden rasch kleiner, um alsbald wieder ganz zu verschwinden. Erst wenn die ganze Flüssigkeitsmasse genügend erwärmt ist, können die aufsteigenden Blasen bis zur Oberfläche gelangen.

Die Temperatur, bei welcher das Sieden beginnt, ist also von dem äußern Druck abhängig. In einem flachen Gefässe können wir den Druck der Flüssigkeit selbst unberücksichtigt lassen, so daß bei solchen Fällen der Siedpunkt nur von dem Druck der Atmosphäre abhängt.

Als Siedpunkt des Wassers wird die Temperatur von 100 ° C. oder 80 ° R. angegeben. Dieß gilt jedoch nur bei einem Barometerstand von 28 pariser Zoll oder 760 Millimetern. Sinkt oder steigt das Barometer, so ändert sich auch die Temperatur an der Oberfläche des siedenden Wassers; bei einem Barometerstand von 27½ Zoll ist sie ungefähr 99½ Grad, bei einem Luftdruck von 28½ Zoll aber 100½ Grad.

Sie wissen, daß auf hohen Bergen der Luftdruck geringer ist als in den Thälern, daß der Barometerstand mit der Erhebung über die Meeresfläche abnimmt. Demnach muß auch das Sieden des Wassers in höheren Gegenden schon bei einer weit niedrigern

Temperatur erfolgen. In der That ist der Siedpunkt des Wassers zu Quito (fast 9000 Fuß über dem Meere) im Mittel 90 ° C., in Mexico (7000′) 92,3 ° C., auf dem Hospiz St. Gotthard (6400′) 92,9 ° C., zu München (1660′) 98,1 ° C., während zu Berlin, zu Hamburg, zu Paris, kurz an Orten, welche nicht bedeutend über dem Meeresspiegel liegen, das Wasser im Durchschnitt erst bei einer Temperatur von 100 ° C. siedet.

Wie man unter der Luftpumpe Wasser von ziemlich niedriger Temperatur zum Sieden bringen kann, haben Sie bereits gesehen.

Verstärkt man den auf der Oberfläche des Wassers lastenden Druck, so muß der Siedpunkt steigen. Am besten läßt sich dieß an dem unter dem Namen des papinianischen Topfes bekannten kleinen Dampfkessel zeigen, welcher bereits im sechsten Briefe beschrieben wurde. Ist das Sicherheitsventil ganz geöffnet, so daß die gebildeten Wasserdämpfe frei entweichen können, so zeigt das Thermometer 100 ° (bei einem Barometerstand von 28 Zoll). Sobald das Ventil geschlossen wird, steigt das Thermometer. Schiebt man das Gewicht am Hebel des Sicherheitsventils so, daß es ebenso stark auf das Ventil drückt, wie die Atmosphäre, daß also der eingeschlossene Dampf eine Spannkraft von zwei Atmosphären haben muß, um das Ventil zu lüften, so steigt das Thermometer auf 121 °. Diese Temperatur von 121 ° ist also der Siedpunkt des Wassers, welches einem Druck von zwei Atmosphären ausgesetzt ist.

Nach dem Gesagten ist nun auch klar, daß in einigermaßen tiefen Wassermassen der Siedpunkt der tieferen Schichten höher seyn muß als an der Oberfläche. Es ist bekannt, daß der Druck der Atmosphäre gleich ist dem Druck einer Wassersäule von 32 Fuß Höhe. In einer Tiefe von 32 Fuß unter der Oberfläche kann also das Wasser erst bei einer Temperatur von 121 ° in's Kochen kommen. Eine Wasserschicht, welche 64′ unter dem Wasserspiegel liegt, hat einen Druck von drei Atmosphären auszuhalten, für sie ist demnach der Siedpunkt 135 °.

Nach diesem Gesetz nun sind die Siedpunkte für verschiedene Tiefen im Geysirrohr berechnet, welche sich in der letzten Columne der Tabelle auf Seite 41 befinden.

Neunter Brief.

Erklärung der Eruptionen des großen Geysirs.

Es ist nach dem Vorhergehenden klar, daß die Flüssigkeitssäule, welche die Röhre erfüllt, fortwährend durch das unten eindringende heiße Wasser erwärmt wird, während an dem großen Wasserspiegel des Beckens eine stete Abkühlung stattfindet. Eine Folge dieses Verhältnisses ist, daß das heiße Wasser fortwährend in der Mitte des Rohres empordringt, sich an der Oberfläche des Beckens gegen den Rand desselben hin verbreitet und nach der Abkühlung an dem Boden des Bassins in die Röhre zurückfließt.

Betrachten wir die Tabelle auf Seite 41, so ergibt sich, daß zu keiner Zeit, ja nicht einmal ganz kurz vor einer großen Eruption, und an keiner Stelle des Geysirrohres das Wasser die Temperatur erreicht, welche nöthig wäre, wenn es bei dem bei vollem Bassin auf ihm lastenden Druck in's Kochen kommen sollte. Das hindert aber nicht, daß von Zeit zu Zeit einzelne Wasserpartien noch heiß genug in höheren Schichten ankommen, um Dampfblasen zu bilden, die aber beim ferneren Aufsteigen in die kälteren Schichten alsbald wieder verdichtet werden. Auf diese Weise entstehen dann die unterirdischen Detonationen und die Anschwellungen des Wassers in der Mitte des Geysirrohres, welche auf Seite 36 beschrieben werden.

Durch eine derartige Bildung von Dampfblasen wird aber so viel Wärme gebunden, die Temperatur der Wasserschichten, aus welchen die Dampfblase sich entwickelte, wird so weit erkaltet, daß nicht so bald eine neue Blasenbildung erfolgen kann. Deßhalb folgt auch auf jede mit einer Aufwallung im Becken begleitete Detonation eine Zeit der Ruhe.

Allmälig aber nimmt die Temperatur des Wassers an allen Stellen des Geysirrohres zu, und dieß hat zur Folge, daß allmälig auch die Dampfblasen größer und mächtiger werden, so daß sie endlich theilweise noch die Oberfläche des Wassers erreichen. Endlich aber werden die Dampfblasen mächtig genug, um eine bedeutendere Wassermasse aus dem Geysirrohre herauszuschleudern, und dieß ist dann der erste Anstoß zu einer großen Eruption.

Nach der Tabelle auf Seite 41 war 10 Minuten vor einer großen Eruption das Wasser nahe über dem Boden des Rohres noch

9,5° von dem dieser Stelle entsprechenden Siedpunkt entfernt. Dreißig Fuß über dem Boden, also in einer Tiefe von 40′, war zu derselben Zeit das Wasser nur noch 2,4° von seinem Siedpunkte entfernt, während höher hinauf diese Differenzen wieder zunehmen. In einer Tiefe von 40 Fuß ist also das Wasser der Temperatur am nächsten, bei welcher das Kochen eintreten kann.

Wird nun durch die abermalige Bildung von Dampfblasen, die jetzt groß genug sind, um eine bedeutende Wassermasse aus dem Geysirrohre hinauszuschleudern, die Last, welche auf den tieferen Wasserschichten lastete, bedeutend vermindert, so beginnt mit dieser Verminderung des Druckes eine massenhafte Dampfbildung in denjenigen Schichten, die ohnehin schon ihrem Siedpunkte sehr nahe waren.

Nehmen wir an, durch das aus dem Rohre hinausgetriebene Wasser sey für einen Augenblick die auf den tieferen Schichten lastende Wassersäule um 5 bis 6 Fuß verkürzt, so wird durch die damit verbundene Verminderung des Drucks der Siedpunkt des Wassers, welches 30′ über dem Boden sich befindet, um ungefähr 4° erniedrigt, das Wasser an dieser Stelle kann also schon bei ungefähr 120° in's Kochen gerathen. Da nun in der That das Wasser hier eine Temperatur von beinahe 122° hat, also fast 2° über den dem verringerten Druck entsprechenden Siedpunkt erwärmt ist, so ist klar, daß jetzt eine so massenhafte Dampfentwickelung an der fraglichen Stelle stattfinden muß, daß von Neuem ungeheuere Wassermassen hoch in die Höhe geworfen werden. Dadurch werden aber auch die nächst tieferen Schichten zum Kochen gebracht und die plötzlich entwickelte Dampfkraft schleudert von Neuem heiße Wassermassen in die Höhe, bis endlich die im Rohre aufgespart gewesene Wärme so weit consumirt ist, daß dadurch einer weitern Dampfbildung eine Grenze gesetzt wird.

Theilweise fällt das in der Luft abgekühlte Wasser wieder in das Bassin herab, aus welchem es in das Rohr zurückfließt, ohne es jedoch ganz ausfüllen zu können. Die ganze Wassersäule ist nun so stark abgekühlt, daß erst nach 4 bis 5 Stunden die erwähnten Detonationen wieder eintreten können.

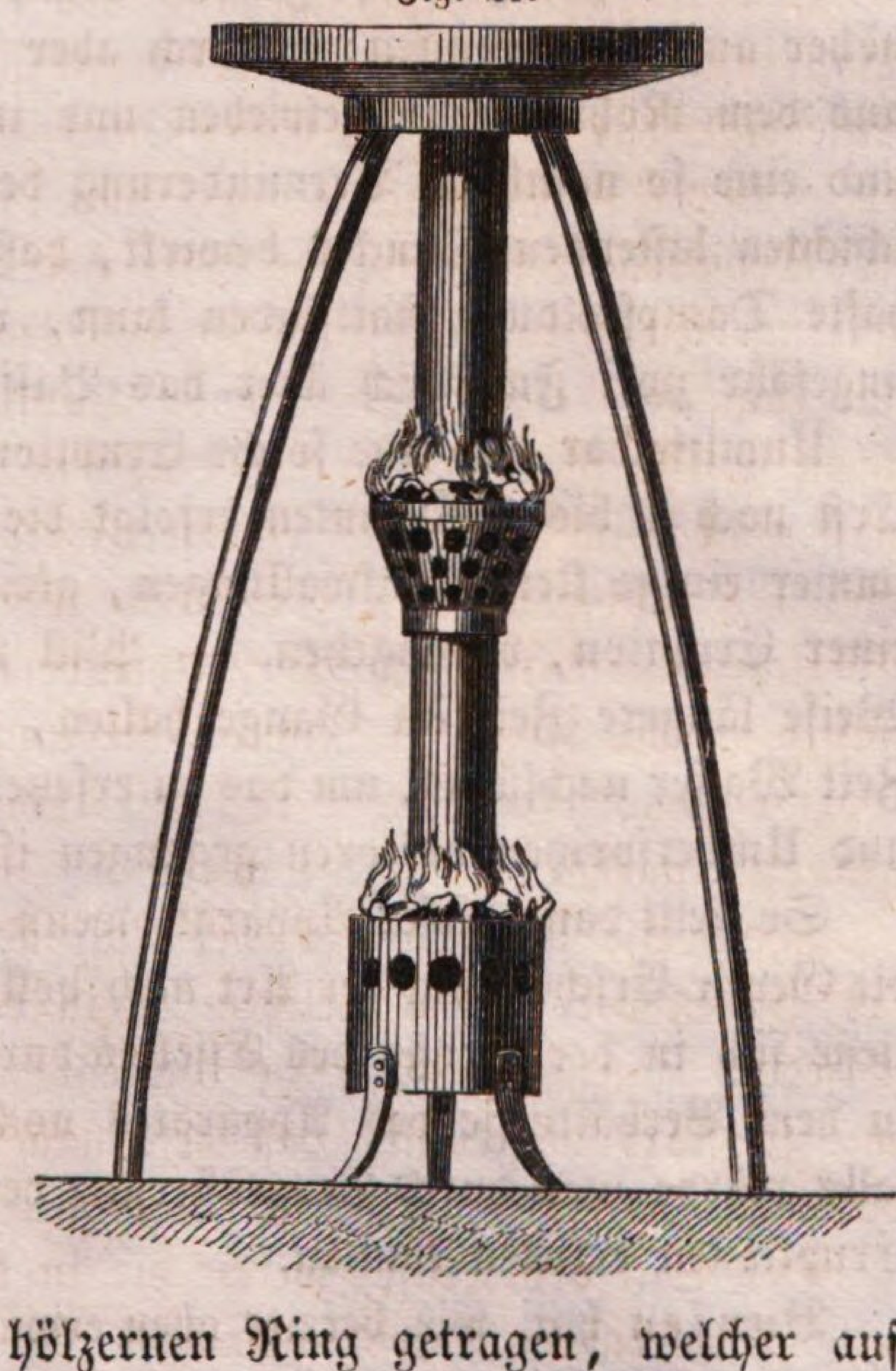
Der Sitz der Kraft, welche die in kochenden Schaum verwandelte Wassermasse emporschleudert, ist also in dem Geysirrohre selbst und nicht, wie man früher glaubte, in unterirdischen Dampf-

kesseln zu suchen, welche abwechselnd bald mit Wasser, bald mit Dampf gefüllt seyn sollten.

Bunsen führt noch folgende Thatsache an, welche mit der alten Theorie ganz unverträglich ist. Er ließ wiederholt mit Bändern bezeichnete Steine an dünnen Fäden in verschiedene Tiefen Geysirröhre nieder. Von allen diesen Steinen waren es nur die näher an der Oberfläche befindlichen, welche bei den großen Eruptionen in die Höhe geschleudert wurden, während die in größeren Tiefen, namentlich am Boden befindlichen niemals wieder zum Vorschein kamen; ja einmal blieb ein fast bis auf den Boden herabgelassenes Thermometer während einer großen Eruption unverletzt und zeigte, wieder heraufgezogen, daß die höchste Temperatur, der es während seiner Versenkung ausgesetzt gewesen war, noch immer 9 Grad unter dem Siedpunkt dieser Stelle geblieben war.

Wenn Bunsen's Erklärung der Geysireruptionen die richtige ist, wenn er die Bedingungen des Phänomens richtig erkannt hat, so muß man auch im Stande seyn, sie nachzuahmen. — In der That ist mir dieß auf das Vollständigste gelungen. Der Apparat, welchen ich zur Nachahmung der Geysir-Erscheinungen konstruirt habe, ist in Fig. 21 abgebildet. Eine ungefähr 5 Fuß hohe Blechröhre von 5 Zoll Durchmesser ist unten geschlossen und endet oben in ein flaches Becken von Blech, welches etwas über 2 Fuß im Durchmesser hat. Etwas unter der Hälfte seiner Höhe ist an diesem Rohr ein von durchlöchertem Blech gebildetes Kohlenbecken befestiget. Der ganze Apparat wird durch einen hölzernen Ring getragen, welcher auf drei Beinen ruht.

Fig. 21.



Dieses Gefäß wird nun so weit mit Wasser gefüllt, daß es noch etwas über die Mündung der Röhre in das Becken hinausragt, sein unteres Ende in ein mit glühenden Kohlen gefülltes Kohlenbecken gesenkt und auch das am Rohre befindliche Becken mit glühenden Kohlen gefüllt.

So sind alle Bedingungen erfüllt, welche nach der Bunsenschen Theorie die Eruptionen des großen Geysirs bedingen. Die Wassermasse zwischen beiden Kohlenbecken wird nach einiger Zeit bis zu der Temperatur erwärmt seyn, welche dem auf ihr lastenden Drucke entspricht. Beginnt nun an der Stelle des oberen Kohlenbeckens die Dampfbildung, so werden die ersten Dampfblasen blos ein Aufwallen des Wassers, eine Wölbung desselben in der Mitte des Bassins veranlassen, weil die aufsteigenden Dampfblasen in den noch kälteren Wasserschichten bald wieder verdichtet werden. Allmälig aber wird auch das obere Wasser, theils durch die fortwährende Strömung, theils durch die aufsteigenden Dampfblasen so weit erwärmt, daß die folgenden Dampfblasen größer werden und höher aufsteigen können; dadurch aber wird ein Theil des Wassers aus dem Rohre hinausgetrieben und in dem Bassin ausgebreitet, und eine so namhafte Verminderung des auf den unteren Wasserschichten lastenden Druckes bewirkt, daß hier plötzlich eine massenhafte Dampfbildung stattfinden kann, welche das siedende Wasser ungefähr zwei Fuß hoch über das Bassin hinausschleudert.

Unmittelbar auf eine solche Eruption folgt vollkommene Ruhe. Erst nach 4 bis 5 Minuten erfolgt die nächste Eruption, welcher immer einige kleine Aufwallungen, gleichsam mißlungene Versuche einer Eruption, vorangehen. — Will man den Apparat in dieser Weise längere Zeit im Gange halten, so muß man von Zeit zu Zeit Wasser nachfüllen, um das zu ersetzen, was durch Verdampfung und Umherspritzen verloren gegangen ist.

So stellt dann dieser Apparat, wenn auch in kleinem Maaßstabe, die Geysir-Erscheinung der Art nach vollkommen treu dar. Vielleicht ließe sich in der Größe des Effektes durch zweckmäßige Abänderung in dem Verhältnisse des Apparates noch etwas gewinnen. Jedenfalls würde man durch Vergrößerung der Dimensionen weit höhere Eruptionen erzielen können.

Bunsen hat, wie bereits oben erwähnt wurde, gezeigt, daß die inkrustirenden Thermalquellen von hoher Temperatur sich im Laufe

der Jahrhunderte mit Geysir-Apparaten versehen und dadurch in continuirliche und intermittirende Eruptionsquellen übergehen müssen. Die Entwickelungsgeschichte dieser Erscheinung ist indessen noch keineswegs mit diesem Ergebniß geschlossen. Die Kieseltuffbildungen schreiten unaufhörlich fort, bis die Geysir-Apparate und der umliegende Boden eine Höhe erreichen, welche der Eruptionsthätigkeit der Quelle dadurch ein Ziel setzt, daß das Verhältniß der drückenden Wassersäule zu der vom Boden ausgehenden Erhitzung ein anderes wird. Sobald der Wärmezufluß von Unten und die Abkühlung an der Oberfläche sich soweit das Gleichgewicht halten, daß die Temperatur der Wassermasse an keiner Stelle mehr den Kochpunkt erreichen kann, hört das Spiel der Quelle von selbst auf. Es entstehen große mit heißem Wasser gefüllte Tuffreservoire.

Etwas oberhalb des gegenwärtig in voller Thätigkeit begriffenen Quellenbezirkes, am Abhange des Laugarfjall (der Hügel auf der rechten Seite des Bildes auf Seite 38), erblickt man noch mehrere solcher mit heißem Wasser erfüllte Behälter, in deren Tiefe man noch die alten Geysir-Mündungen hindurchschimmern sieht. Diese Quellen, sagt Bunsen, sind von unbeschreiblicher Schönheit. In der Tiefe der klaren aquamarinblauen, durch kein Aufwallen getrübten Wassermasse dieser Becken, aus denen ein leichter Dampf sich erhebt, erblickt man am Boden, inmitten der phantastischen Formen weißer Stalaktitenwände, die dunklen Umrisse der einst den Mund eines Geysirs bildenden Oeffnung, die sich in einer dem Auge unerreichbaren Tiefe verliert. — Nirgends tritt die schöne grünlich-blaue Färbung des Wassers in größerer Reinheit auf, als in diesen Quellen.

Zehnter Brief.

Der Strokkr und der kleine Geysir.

Nachdem ich die Erscheinungen des großen Geysirs ausführlich besprochen habe, wollen wir zur Vollendung des Gemäldes noch den Strokkr und den kleinen Geysir betrachten.

Der Strokkr (Butterfaß) liegt einige hundert Schritte südwestlich vom großen Geysir (also links von dem Wasserstrahl in der Ansicht auf Seite 38. Die Zelte der Reisenden befanden sich

ungefähr in gleicher Entfernung vom großen Geysir und vom Strokkr).

Der Strokkr fördert bei seinen Ausbrüchen eine ungleich geringere Wassermasse zu Tage als der große Geysir. Er hat keinen Eruptionskegel von Kieseltuff; statt desselben besitzt seine Oeffnung nur einen wulstförmigen, aus einem dunkelbraunen sehr dichten Sinter bestehenden Rand, welcher nur einige Zolle hoch und breit ist.

Fig. 22.

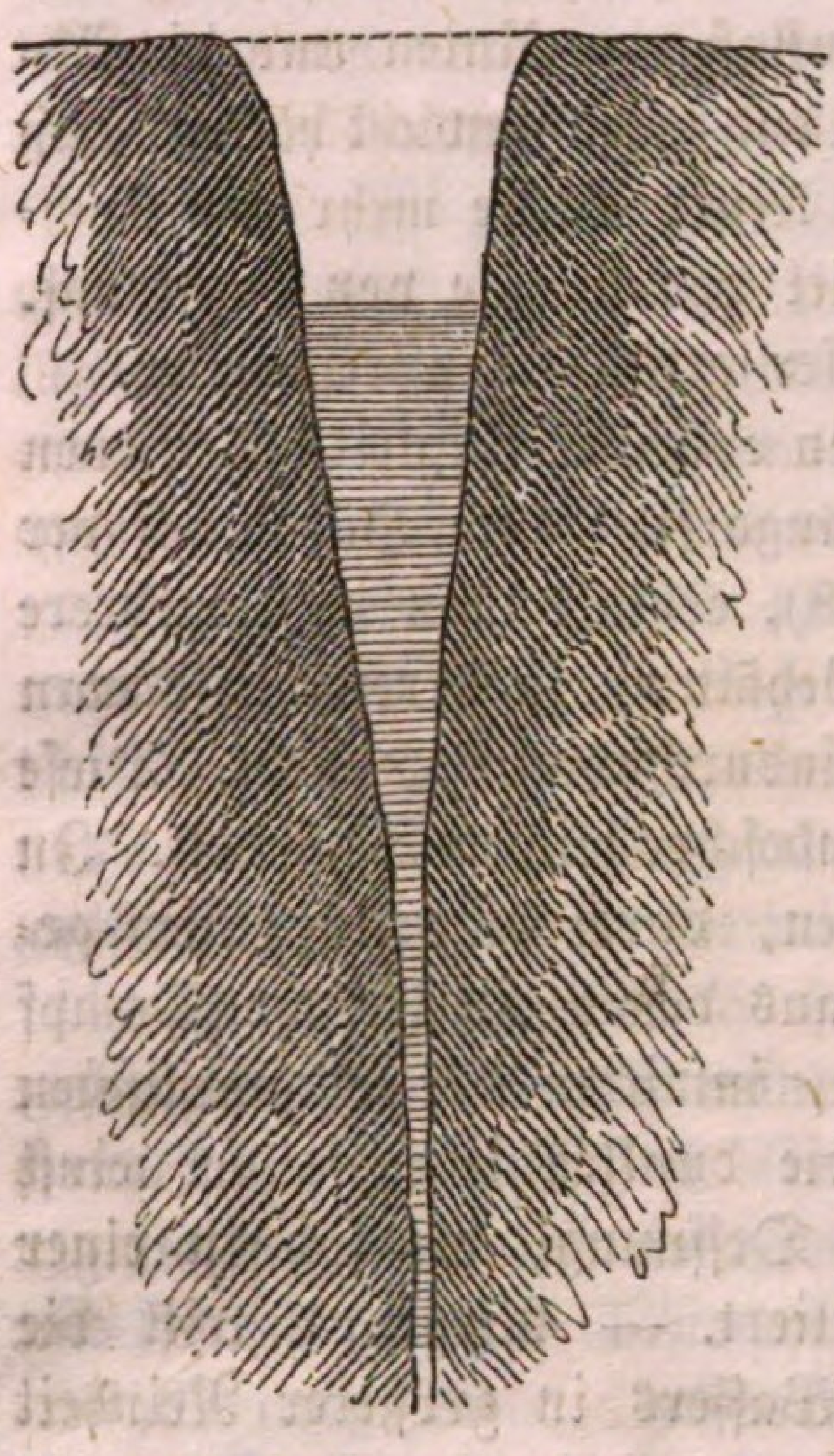


Fig. 22 stellt den Durchschnitt des Strokkr-Rohres dar. In einer Tiefe von 25 Fuß beträgt der Durchmesser des Rohres nur ungefähr 9 Zoll. Nach oben ist das Rohr trichterförmig erweitert; der obere Durchmesser des Trichters beträgt 7 Fuß. In einer Tiefe von 40 Fuß erreicht das Senkblei den Grund oder es stößt auf Hindernisse, die ein weiteres Hinabgehen nicht erlauben.

Das fortwährend in heftigem Sieden begriffene Wasser, dessen Niveau 9 bis 12 Fuß unter der Mündung steht, hat keinen Abfluß und wird nur durch Eruptionen entleert. Die Eruptionen des Strokkr finden häufiger statt als die des großen Geysirs; sie kündigen sich nicht durch ein unterirdisches Donnern an. Kurz vor ihrem Beginne steigt aus dem Rohre dieses Kochbrunnens eine ungeheure Dampfwolke auf, welcher bald unter einem eigenthümlichen Sausen und Zischen ein 120 bis 150 Fuß hoher, in den feinsten Staub gelöster Wasserstrahl nachfolgt. Kaum ist der erste Strahl hervor, so folgt ein zweiter, ein dritter, bis nach einigen Minuten kleinere Strahlen das Schauspiel beschließen.

Es ist bemerkenswerth, daß man den Strokkr zu jeder Zeit, wenn er sich in Ruhe befindet, zu einer Eruption nöthigen kann, indem man seinen Trichter mit Steinen und Rasenschollen so gut als möglich verstopft. — Nach etwa zehn Minuten haben die in

der Tiefe zurückgehaltenen Dämpfe eine solche Spannung erreicht, daß sie den ganzen Inhalt, Steine, Erde und Wasser in einer Schlammfontäne in die Höhe spritzen.

In dem obern weiten Theile des Strokkr-Rohres hat das Wasser stets die Temperatur des Siedpunktes, welcher dem auf den in verschiedenen Tiefen herrschenden Druck entspricht. In dem untern engern Theile des Rohres hingegen, von dem Boden bis zu einer Höhe von 14 Fuß über denselben, bleibt sich die Temperatur bis auf unbedeutende Veränderungen gleich. Man kann demnach nicht daran zweifeln, daß der untere enge Theil des Strokkr-Trichters von einem empordringenden Dampfstrahl erfüllt ist.

Es ist sehr wahrscheinlich, daß die Eruptionen des Strokkr in ähnlicher Weise zu Stande kommen, wie die des großen Geysirs, aber jedenfalls hat die Kraft, welche das Wasser in die Höhe schleudert, ihren Sitz in einer größern für direkte Versuche unzugänglichen Tiefe.

Unmittelbar neben dem großen Geysir und dem Strokkr liegen gegen vierzig verschiedene Quellen, theils Sprudel, theils tiefe mit ruhigem dunkelgrünem heißem Wasser angefüllte Bassins, von denen bereits oben die Rede war. Der bedeutendste unter den Sprudeln spritzt sein Wasser zwanzig bis dreißig Fuß hoch.

Außer diesen periodischen Stoßquellen gibt es noch eine andre Art intermittirender Thermen, deren Thätigkeit sich nicht durch plötzlich eintretende unterirdische Dampf-Detonationen anzukündigen pflegt und deren Eruption keineswegs durch stoßweises auf eine kurze Zeitdauer beschränktes Hervorbrechen der siedenden Wassermassen charakterisirt ist. Der Litli Geysir (kleine Geysir), welcher der Quellengruppe von Reykir, ungefähr 8 Meilen südwestlich vom großen Geysir, angehört, bietet eines der ausgezeichnetsten Beispiele dieser Art dar. Man erblickt hier eine konische Tufferhöhung, deren kleiner Quellenkrater theilweise mit Steinen zugeworfen ist. Zwischen diesen Steinen, welche zeitweise nicht mit Wasser bedeckt sind und eine nur unbedeutende Dampfentwickelung zeigen, wird der kochende Wasserstrahl periodisch hervorgepreßt. Die Eruptionen wiederholen sich mit großer Regelmäßigkeit in Zwischenräumen von 3³/₄ Stunden. Ihre Annäherung gibt sich durch eine allmälig zunehmende Dampfentwickelung und durch ein unterirdisches plätscherndes Geräusch zu erkennen. Dann dringt

kochender Wasserschaum hervor, der in langsamen Perioden steigend und fallend sich immer höher und höher erhebt, bis er nach etwa zehn Minuten, wo die Erscheinung ihre größte Entwickelung erreicht hat, in vertikal und seitlich aufspritzenden Garben gegen 30 bis 40 Fuß hoch emporsteigt. Dann nehmen die Strahlen an Umfang und Höhe in ähnlicher Weise ab, wie sie sich erhoben, bis die Quelle nach abermals zehn Minuten zu ihrer alten Ruhe zurückkehrt.

Diese Erscheinung tritt zwar an Größe zurück gegen die gewaltigen Ausbrüche des großen Geysirs, allein an Schönheit steht sie dieser kaum nach. Das bedeutende Zischen und Brausen, mit welchem die kochenden Wasserstrahlen aus dem Quellenkrater hervorbrechen und durch welches hindurch man deutlich das Rauschen der durch die Gewalt der Dämpfe zerstäubten, in Regenschauern herabfallenden Wassermasse unterscheidet, — die glänzenden Regenbogen, welche durch den Reflex der Sonnenstrahlen mit stets wechselnder Stärke in den herabrauschenden Tropfen auf Augenblicke entstehen, um eben so schnell wieder unter den rollenden Dampfmassen zu verschwinden, — die dichtgeballten Dampfwolken selbst, welche von dem Wasserstrahl emporwirbeln und dem Spiel der Winde preisgegeben sich scharf gegen den Hintergrund der dunkeln Bergwand abgrenzen, — der mattfarbige Halo endlich, welchen der Beobachter zu Häupten seines schwankenden riesigen Schattens auf diesen Wolken gewahrt und der nur ihm selbst, nicht seinem Nachbar sichtbar ist, — Alles dieß bringt einen überraschend großartigen, schwer zu beschreibenden Eindruck hervor.

Daß diese Quelle nicht durch dieselben Ursachen in Thätigkeit erhalten wird, welche die Eruptionen des großen Geysirs bedingen, leuchtet ein, wenn man die Dauer ihrer Ausbrüche, das langsame und stetige Wachsen und Abnehmen derselben und die große Regelmäßigkeit ihrer Periodicität in's Auge faßt. Alle diese Erscheinungen stehen aber in völligem Einklange mit der von Makenzie zuerst aufgestellten Hypothese unterirdischer Dampfkessel, welche man mit Unrecht auch zur Erklärung der Eruptionen des großen Geysirs benützt hat.

Eilfter Brief.

Foucault's Pendelversuch.

Wenige physikalische Instrumente haben wohl der Wissenschaft und dem Leben schon so viele Dienste geleistet, wie das Pendel. — Das Studium der Pendelschwingungen war es vorzugsweise, an welchen Galiläi die Grundlehren der Mechanik herausbildete; — das materielle Pendel gab die Veranlassung zur Erforschung der Lehre von den Trägheitsmomenten; — erst das Pendel machte die Konstruktion von Uhren möglich, deren Zeitangaben die für astronomische Zwecke nöthige Genauigkeit haben. Daß die Schwere auf alle Körper gleichmäßig wirkt, daß also das Gewicht eines Körpers stets seiner Masse proportional ist, konnte nur durch Pendelversuche mit voller Zuverläßigkeit nachgewiesen werden. Das Pendel hat den Beweis geliefert, daß die Erde abgeplattet, d. h. daß ihr Polardurchmesser kleiner ist, als ihr Aequatorialdurchmesser und damit ist dann auch indirect die Axendrehung der Erde bewiesen, da ja die Abplattung eine Folge der bei jeder Rotation auftretenden Centrifugalkraft ist.

Außer diesem indirekten Beweis hat aber das Pendel endlich auch einen direkten Beweis für die tägliche Umdrehung der Erde um ihre Axe geliefert, und dieß ist der Gegenstand, mit welchem ich Sie in diesem Briefe zu unterhalten gedenke.

Nach dem Gesetze der Trägheit wird jeder Körper seinen Bewegungszustand unverändert beibehalten, so lange nicht äußere Kräfte eine Störung desselben veranlassen. Eine Veränderung in der Geschwindigkeit oder in der Richtung der Bewegung eines Körpers tritt nur dann ein, wenn eine äußere Veranlassung zu einer solchen Aenderung vorhanden ist.

Wenn nun ein Pendel, welches durch eine schwere, an einem biegsamen Faden aufgehängte Kugel gebildet ist, auf die gewöhnliche Weise in Schwingungen versetzt wird, so finden diese Schwingungen stets in einer und derselben Ebene statt; das Pendel verläßt seine Schwingungsebene nicht, ohne daß äußere Kräfte es veranlassen.

Das oscillirende Pendel hat also ein Streben, seine Schwingungsebene im Raum unverändert zu erhalten. Die Schwingungsebene eines einfachen Pendels, welches lang genug ist, um wenig-

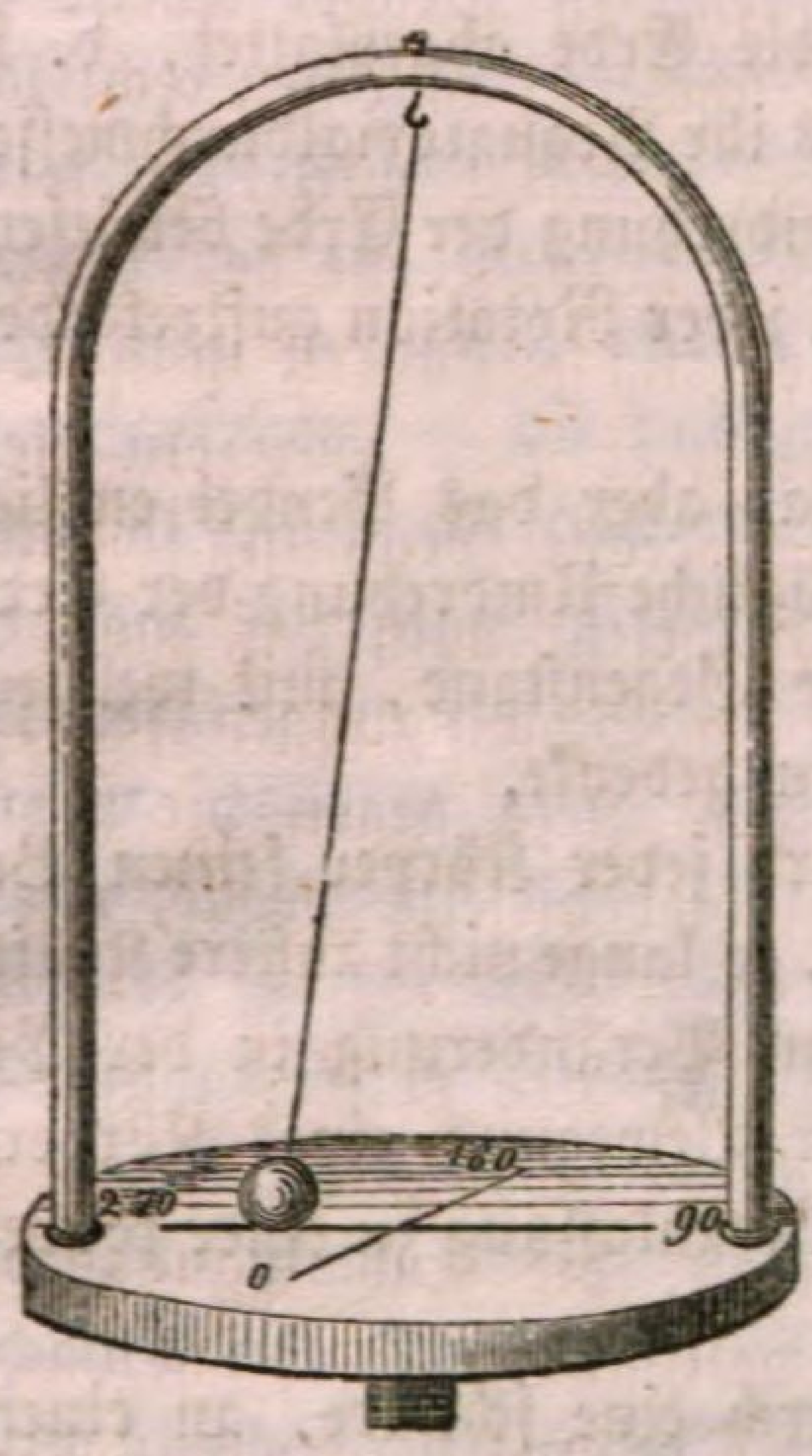
stens mehrere Stunden lang ohne neuen Anstoß fortzuschwingen, wird also, wenn sich die Erde wirklich in 24 Stunden um ihre Axe dreht, allmälig ihre Lage gegen die Erdoberfläche ändern müssen, weil ja diese Schwingungsebene unverändert dieselbe bleibt, während die Erdkugel unter ihr sich dreht.

Eine derartige Betrachtung führte den französischen Physiker Foucault auf die Idee, in den Schwingungen eines einfachen Pendels einen direkten Beweis für die Axendrehung der Erde zu sichern. Der Versuch hat seine Erwartungen vollständig bestätigt.

Zunächst will ich nun den eben nur flüchtig angedeuteten Grundgedanken des Foucault'schen Pendelversuchs etwas weiter auseinandersetzen.

Denken Sie sich an einer horizontalen runden Scheibe Fig. 23 einen Bügel von starkem Metalldraht befestigt, von dessen Mitte ein Faden herabhängt, welcher unten eine Bleikugel trägt. Die Scheibe kann auf einer vertikalen Umdrehungsaxe so befestigt werden, daß der Mittelpunkt der Scheibe und der Aufhängungspunkt des Fadens in die Verlängerung der Umdrehungsaxe fallen, daß also die Gleichgewichtslage des Pendels die Verlängerung dieser Axe bildet.

Fig. 23.



Um die Richtungen besser bezeichnen zu können, seyen nun auf der Scheibe rechtwinklig zu einander zwei Linien gezogen, die in unsrer Figur mit 0—180 und mit 90—270 bezeichnet sind.

Ein solcher Apparat werde nun in einem Zimmer so aufgestellt, daß die Linie 0—180 nach einem beliebigen festen Punkte, etwa nach einer Zimmerecke gerichtet ist, und dann das Pendel so in Schwingungen gesetzt, daß die Kugel genau über der Linie 0—180 hin- und hergeht, so lange der ganze Apparat ruhig stehen bleibt.

Die eben bezeichnete Schwingungsebene des Pendels ist nun genau gegen das besprochene Zimmereck gerichtet und bleibt es auch, wenn auch der Apparat um seine vertikale Axe umgedreht wird.

Die Scheibe dreht sich also jetzt unter der unverändert bleibenden Schwingungsebene des Pendels; während zu Anfang die Schwingungsebene des Pendels mit der Vertikalebene der Linie 0—180 zusammenfiel, wird nach einer Viertel-Umdrehung die Linie 90—270 mit der Schwingungsebene des Pendels zusammenfallen, die immer unverändert gegen das Zimmereck gerichtet bleibt.

Wenn wir nun aber die Lage des Pendels auf die Scheibe beziehen, so findet bei dem obigen Versuch eine scheinbare Drehung der Schwingungsebene des Pendels gegen die Scheibe statt. Gesetzt den Fall, eine ganze Umdrehung der Scheibe werde in 1 Minute vollendet, so wird die scheinbare Drehung der Schwingungsebene gegen die Scheibe in jeder Sekunde einen Winkel von 6° betragen.

Denken Sie sich nun gerade so wie hier über der Umdrehungsaxe der Scheibe, so auch über der Umdrehungsaxe der Erde, also etwa gerade über dem Nordpol derselben, in gleicher Weise ein Pendel aufgehängt, welches durch eine schwere, an einen recht langen Stahldraht aufgehängte Metallkugel gebildet wird, so wird, wenn die Erde wirklich rotirt, die Schwingungsebene des Pendels allmälig ihre Stellung gegen die Erdoberfläche ändern müssen.

Wenn für den Nordpol die Sonne über dem Horizont steht, so lauft sie während 24 Stunden in wagerechter Richtung scheinbar um den ganzen Himmel herum. Vorausgesetzt nun, daß man das Pendel gerade gegen die Sonne hin in Schwingungen setze, so wird die Schwingungsebene des Pendels stets gegen die Sonne gerichtet bleiben; die Sonne spielt jetzt hier dieselbe Rolle, wie in dem obigen Versuche das Zimmereck.

Sobald also die Erde wirklich um ihre Axe rotirt, müßte die Schwingungsebene eines über dem Pol aufgehängten Pendels sich scheinbar gegen die Erdoberfläche drehen, die Schwingungsebene des Pendels müßte in 24 Stunden eine vollständige Drehung machen, für 1 Stunde beträgt also die scheinbare Drehung der Schwingungsebene gerade 15°.

Auf den Polen, wo die Erscheinung in ihrer vollen Einfachheit auftreten müßte, können wir nun freilich den Versuch nicht anstellen; aber auch an anderen Orten der Erde muß diese scheinbare Drehung des Pendels stattfinden, nur wird sie, wie sich auf mathematischem Wege darthun läßt, um so geringer, je weiter man sich von dem

Pole entfernt, bis endlich auf dem Aequator selbst die scheinbare Drehung der Schwingungsebene ganz verschwindet.

Die nähere Nachweisung, wie sich der Versuch mit dem Foucault'schen Pendel an verschiedenen Orten gestalten muß, die Berechnung der scheinbaren Drehung für verschiedene geographische Breiten, würde mehr mathematische Entwickelungen erfordern, als ich mir erlauben darf, in diesen Briefen in Anwendung zu bringen. — Ich führe nur noch an, wie groß jenen Berechnungen zufolge die Drehung der Schwingungsebene für 1 Stunde an folgenden Orten seyn muß.

	Geogr. Breite.	Größe d. Drehung in 1 Stunde.
Am Nordpol	90°	15°
Königsberg	54° 42′	12,83°
München	48° 8′	11,31°
Rom	41° 54′	10,16°
Mexiko	19° 25′	5,04°
Cayenne	4° 56′	1,31°

Ueberall auf der nördlichen Hemisphäre muß die scheinbare Drehung der Schwingungsebene in derselben Richtung vor sich gehen, nach welcher sich der Zeiger einer Uhr dreht, also von West nach Nord, Ost, Süd u. s. w.

Foucault stellte seinen Versuch zuerst in einem Kellergewölbe mit einer 10 Pfund schweren, an einem 6 Fuß langen Stahldraht aufgehängten Kugel an. Der Hauptsache nach wurde seine Erwartung vollständig bestätigt; es fand eine Drehung der Schwingungsebene in der bezeichneten Richtung statt, nur war die Größe derselben bald etwas zu groß, bald etwas zu klein; diese Unregelmäßigkeiten rührten offenbar von der Mangelhaftigkeit des Apparats, namentlich von der geringen Länge des Pendels her. Nachdem ein zweiter mit einem 33 Fuß langen Pendel im Meridiansaale der Pariser Sternwarte angestellter Versuch noch genügendere Resultate gegeben hatte, hing endlich Foucault im Pantheon zu Paris eine 56 Pfund schwere Kugel an einem 200 Fuß langen Stahldraht auf und erhielt mit diesem Pendel, welches zu einer Schwingung

eine Zeit von ungefähr 8 Sekunden bedarf, Resultate, welche mit den berechneten Drehungen so vollkommen übereinstimmten, wie man es nur wünschen konnte.

Obgleich die Axendrehung der Erde schon vorher zu den unzweifelhaftesten Lehren der Physik gezählt wurde, so erregte doch der Foucault'sche Pendelversuch in der ganzen physikalischen Welt das größte Interesse; er wurde an vielen Orten wiederholt und überall bestätigt gefunden, wo man hinreichend lange Pendel mit genügender Sorgfalt aufgehängt und Alles beseitigt hatte, was störend auf die Regelmäßigkeit des Ganzen hätte einwirken können.

Zu den gelungensten Wiederholungen des Foucault'schen Pendelversuchs in Deutschland müssen vor allen Dingen die von Schwerd im Dom zu Speyer und die von Garthe im Chore des Doms zu Cöln angestellten gerechnet werden. — Garthe hat über den Foucault'schen Versuch eine kleine Schrift veröffentlicht (Cöln bei K. Eisen. 1852), in welcher er außer einer populären Demonstration auch auf das Sorgfältigste den ganzen Apparat beschreibt und namentlich eine höchst zweckmäßige Aufhängungsmethode angibt. In diesem Schriftchen findet sich auch eine genaue Angabe der Versuchsresultate, von denen ich eines heraushebe, um Ihnen zu zeigen, wie genau der Versuch mit der Theorie übereinstimmt.

Am 2. Juni 1852 wurde das Pendel um 4 Uhr Nachmittags in Gang gesetzt und blieb bis 8 Uhr in Bewegung. Es wurde nun die Zeit beobachtet, welche jeweils nöthig war, damit eine Drehung der Schwingungsebene von 10° erfolgte. Es ergab sich für diese Zeit der Reihe nach

51	Minuten	30	Sekunden
51	"	31	"
51	"	37	"
51	"	33	"

also im Mittel 51′ 33″, während nach der Theorie zu einer Drehung von 10° eine Zeit von 51′ 32″ erforderlich ist, da für Cöln (50° 55′ N. B.) die Drehung der Schwingungsebene für eine Stunde 11,64° betragen muß. Sie sehen also, daß die scheinbare Drehung der Schwingungsebene mit einer Regelmäßigkeit vor sich geht, welche der Genauigkeit im Gang einer guten Uhr nahe kommt.

Während nun die ganze physikalische Welt den Foucault'schen Versuch mit der größten Befriedigung aufnimmt, tritt in Berlin

ein Dr. C. Schöpffer auf, welcher eben durch das Foucault'sche Pendel an der Axendrehung der Erde irre wird und endlich zu der Ueberzeugung kommt, daß die Erde in jeder Beziehung feststeht. Diese große Entdeckung hat er nicht allein in einer zu Berlin gehaltenen Vorlesung auseinandergesetzt, sondern er hat sie auch dem Buchhandel übergeben (Berlin bei Sauer).

Sie können überzeugt seyn, daß die Schöpffer'sche Entdeckung unter den Astronomen und Physikern nicht mehr Sensation erregen wird, als die Angriffe, welche Herr von Drieberg etwa zehn Jahre gegen die physikalische Lehre vom Luft- und Wasserdrucke richtete.

Um Schöpffer's Standpunkt zu bezeichnen, erlaube ich mir nun ein Beispiel anzuführen. Die Abplattung der Erde gibt er zwar zu, meint aber, daß sie sich weit einfacher erklären lasse, als durch die Axendrehnng der Erde. In den Aequatorialgegenden, meint er, dehnt sich die Erde wegen der dort stets herrschenden hohen Temperatur aus, zieht sich dagegen an den Polen zusammen, wo es stets kalt ist; außerdem aber ist die Erde in den Aequatorialgegenden in Folge der üppigen Vegetation in einem fortwährenden Wachsthum begriffen, wie ja auch auf vielen unserer höheren Gebirge Torfmoore emporwachsen!

Nach dieser Probe werden Sie es wohl begreiflich finden, daß Herr Schöpffer von dem eigentlichen Zusammenhange zwischen der scheinbaren Drehung der Schwingungsebene des Pendels und der Axendrehung der Erde auch nicht die leiseste Ahnung hat.

Herr Schöpffer meint, es gehöre ein nicht geringer Muth dazu, die jetzt allgemein als wahr angenommene Lehre von der Axendrehung der Erde und ihrer Bewegung um die Sonne anzugreifen. Er mag sich beruhigen. Von Seiten der Physiker und Astronomen wird er keinerlei Verfolgung zu befürchten haben, es existirt kein physikalisches Ketzergericht.

Wenn einmal die Erkenntniß der Naturgesetze einen solchen Grad der Sicherheit erlangt hat, wie es in dem mechanischen Theil der Physik der Fall ist, so können Angriffe gegen die wohl begründete Lehre nur von solchen ausgehen, welche den wahren Zusammenhang nicht erkannt haben und welche einen Kampf gegen ein Zerrbild des Gesetzes beginnen, welches sie sich selbst ausgebildet haben. — Von solchen Angriffen hat die physikalische Lehre Nichts zu fürchten. — In solchen Theilen der Naturlehre aber, in welchen die Er-

kenntniß der Gesetze noch nicht so weit vorgedrungen ist, in welchen unsere Ansichten und Begriffe noch der Ergänzung und der Berichtigung bedürfen, da wird jede begründete Einwendung gegen die herrschende Ansicht mit Dank aufgenommen werden, weil sie den Ausgangspunkt für einen neuen Fortschritt bilden kann.

Zwölfter Brief.

Schlußbetrachtungen.

Zum Schlusse dieser Briefe erlauben Sie mir noch einige Betrachtungen über den Einfluß beizufügen, welchen das Studium der Naturwissenschaften auf die Entwickelung und Verbreitung geistiger Bildung überhaupt schon ausgeübt hat und in der Zukunft noch ausüben wird. Die philosophische und ethische Bedeutung der Naturwissenschaften ist es also, auf welche ich Ihre Aufmerksamkeit lenken möchte.

Der materielle Nutzen, welchen die Kenntniß der Naturgesetze der menschlichen Gesellschaft bringt, ist so allgemein anerkannt; was Schifffahrt und Handel den Naturwissenschaften verdanken, welchen Aufschwung durch sie Industrie und Verkehr genommen haben, ist so in die Augen fallend, daß es unnöthig erscheint, viele Worte darüber zu verlieren. Nur insofern werde ich auch auf diesen materiellen Nutzen der Naturwissenschaften wieder zurückkommen, als die praktischen Vortheile, die sie uns bringen, auf alle unsere Lebensverhältnisse einwirken und somit auch indirekt auf den Kulturzustand der Menschheit einen großen Einfluß ausüben.

Schauen wir zurück auf die geistige Entwickelungsgeschichte der Menschheit, so erkennen wir alsbald, daß auch auf diesem Felde die Naturwissenschaften zu den bedeutendsten Faktoren gehören. Klar und deutlich tritt uns dieß Resultat entgegen, wenn wir ohne Vorurtheil und mit unpartheiischem Maaßstabe unsre jetzige Kultur mit dem Bildungszustand und den socialen Verhältnissen vergangener Jahrhunderte vergleichen.

Eine solche Vergleichung fällt entschieden zu Gunsten unsres Jahrhunderts aus und zwar in jeder Hinsicht. Nicht allein in materieller und industrieller Beziehung sind wir fortgeschritten; die

Wissenschaften sind nicht allein durch zahlreiche Errungenschaften bereichert, sondern im Allgemeinen ist auch die Intelligenz verbreiteter, und endlich, was auch die Lobredner der „guten alten Zeit“ sagen mögen, auch in moralischer Beziehung steht unser Jahrhundert ehrenvoll da im Vergleich mit den vergangenen.

Dabei sind wir freilich noch weit entfernt, unsere Zustände zu überschätzen und gegen ihre Mängel blind zu seyn. Das Irdische ist eben immer unvollkommen und wird es auch bleiben. — Wie manche traurige und niederschlagende Erfahrung müssen wir nicht täglich machen? Aber blicken wir zurück auf die Zustände zu Anfang unsres Jahrhunderts, auf den Zustand des öffentlichen Rechtes und der Moral im vorigen, auf die Gräuel und Rohheiten des dreißigjährigen Krieges u. s. w., und wir müssen eingestehen, daß der heutige Zustand der Menschheit sehr befriedigend ist im Vergleich zu den Verhältnissen der letztvergangenen Jahrhunderte sowohl, wie des Mittelalters und des klassischen Alterthums. Gegenüber den Mängeln und Uebelständen unsrer jetzigen Verhältnisse hat der Anblick dieses allgemeinen Fortschrittes der gesammten Menschheit etwas Erhebendes und Tröstendes.

Und an diesem allgemeinen Fortschritte haben die Naturwissenschaften einen wesentlichen Antheil.

Im Theatrum europaeum, 7ter Band, Seite 472, findet man unter ähnlichen Dingen folgende für jene Zeit höchst charakteristische Notiz:

„Umb welche Zeit (1653) man auch in der Wetterau, mit Hexen und Zauberer verbrennen, welches Geschmeiß der Orthen sehr überhand genommen hatte, noch immer fortgefahren.“

Man sieht aus dieser citirten Stelle, daß der Glaube an Hexen in jener finstern Zeit nicht allein in den verwahrlosten Massen zu Hause war, sondern daß dieser Glaube auch von Leuten getheilt wurde, welche auf der Höhe der Bildung ihrer Zeit standen, sonst könnte darüber im Theatrum europaeum nicht auf die angegebene Weise berichtet werden (der entsprechende Band ist 1685 gedruckt).

Und doch war zu jener Zeit der Samen einer richtigern Naturerkenntniß, welche allmälig bessere Zustände vermitteln sollte, schon ausgestreut. Kopernikus, Galiläi, Keppler hatten eine neue Periode der Wissenschaft begründet, deren Früchte auch dereinst der ganzen Menschheit zu statten kommen mußten.

Keppler, welcher die Gesetze der Planetenbewegung erforschend und dadurch seinen Namen unsterblich machend, sein ganzes Leben lang mit Noth, Elend und Widerwärtigkeiten aller Art zu kämpfen hatte, erhielt gegen Ende des Jahres 1615 die traurige Nachricht, daß seine 70jährige Mutter der Zauberei und der Thränenlosigkeit angeklagt sey. Sechs Jahre lang dauerte dieser Hexenprozeß und nur durch Klugheit und Entschlossenheit gelang es Keppler, sie von der Tortur und dem Flammentode zu erretten.

In der That geben uns solche Thatsachen ein trauriges Bild von den Zuständen jener düstern Zeit.

Noch weit in's 18te Jahrhundert haben die Gräuel der Hexenprozesse fortgedauert; zu ihrer Abstellung aber haben die Naturwissenschaften wesentlich beigetragen. — Es ist begreiflich, wie die Kräfte der Natur für Denjenigen, welcher ihre Gesetze nicht kennt, welchem der Zusammenhang zwischen den verschiedenen Naturerscheinungen gänzlich verborgen ist, überall in der Natur etwas Dämonisches erblickt, was dann auf seine ganze religiöse Weltanschauung einen mächtigen Einfluß ausüben muß. — Alles Unheil, welches die Naturkräfte ihm bringen, wird dann von dem kurzsichtigen Menschen bösen Geistern zugeschrieben, er sieht überall boshafte Willkür, wo der Gebildete eine weise Gesetzmäßigkeit erkennt. Die Furcht vor solchen dämonischen Vexationen, das Streben sich an dem vermeintlichen Urheber des Unheils zu rächen, veranlaßte dann die grausame Verfolgung der Unglücklichen, welche man als Vertraute der Dämonen ansah.

Die Naturwissenschaften mußten nothwendig die Anschauungsweise, auf welche der Hexenglaube sich stützte, untergraben. Die fortschreitende Naturerkenntniß wies überall einen gesetzmäßigen Zusammenhang nach, sie zeigte, daß die Erscheinungen der Natur einer bestimmten Weltordnung folgen, welche keinen willkürlichen Eingriff dämonischer Geister gestattet.

Die Planeten folgen von nun an dem Gesetze der Schwere, ihr Lauf, ihre Constellation hat nichts mehr zu thun mit den Schicksalen des Menschen; selbst die gefürchteten Kometen fügen sich dem Gesetz der Massenanziehung und sind dadurch außer Zusammenhang mit irdischer Noth und menschlichem Elende gebracht.

Freilich hat der Mensch noch immer Manches von der Wuth der entfesselten Elemente zu leiden. Sturm, Hagel, Wasserfluthen

und Feuersbrünste verheeren die mühsam bebauten Felder oder berauben ihn des schützenden Daches; allein so groß auch das Unglück ist, so erkennt der gebildete Mensch in diesen Wirkungen doch nur die Kräfte wieder, denen er auf der andern Seite so manchen Nutzen, so manche Wohlthat verdankt; durch die Erkenntniß des wahren Zusammenhanges dieser Erscheinungen verlieren sie das Unheimliche, das Dämonische, womit sie früher behaftet erschienen. Nicht mehr von blinder Furcht erfüllt steht der Mensch solchen Naturereignissen gegenüber, nicht mehr rathlos steht er da; er sucht so viel als möglich noch zu schützen, vom Untergang zu retten und die vom Unglück Betroffenen sucht eine thatkräftige Nächstenliebe so viel als möglich der Noth zu entreißen.

Die Erkenntniß der Naturkräfte hat den Menschen schon vielfach Mittel an die Hand gegeben, sich vor der Wuth der Elemente zu schützen oder wenigstens die Folgen zerstörender Naturereignisse zu mildern. Der Blitzableiter schützt das Haus vor dem zündenden oder zerschmetternden Schlage. Der elektrische Telegraph ist ein schneller warnender Bote, welcher dem Sturm, der Wasserfluth voraneilend vielfaches Unglück vermeiden hilft. Wenn im Hochgebirge durch mächtige Regengüsse die Bäche und Flüßchen anschwellen, verkündet der Telegraph den Uferbewohnern der Niederungen das Verderben drohende Ereigniß, viele Stunden bevor die Fluth jene Gegenden erreicht. Man hat Zeit, seine Vorkehrungen zu treffen, die am Ufer gelegenen Waarenlager zu räumen, die Holzvorräthe aus dem Bereich der Fluth zu bringen, von den bedrohten Feldern wegzuführen, was noch irgend möglich ist, die Schleußen in Stand zu setzen u. s. w. — Wenn ein Sturm an den Ostküsten von Nordamerika hinzieht, so wird die Nachricht von dem alsbaldigen Eintreffen desselben von den südlicher gelegenen Orten den nördlicheren durch den Telegraphen mitgetheilt; alle Schiffe in den Häfen treffen ihre Vorsichtsmaßregeln, keines läuft aus, und so wird Manches vor dem Verderben gerettet, dem es ohne die Warnung nicht entgangen wäre.

Weit höher aber, als aller materieller Nutzen, welchen die Naturwissenschaften dem Menschen bringen, ist der Einfluß anzuschlagen, welchen die Erkenntniß der Naturgesetze auf seine geistige Bildung ausübt. Die Begriffe von Gott und Natur werden durch

eine solche Erkenntniß veredelt, die ganze Weltanschauung wird durch sie geläutert.

Wohin auch der denkende Mensch seine forschenden Blicke wenden mag, tritt ihm Ordnung und Gesetz in der Natur entgegen. Selbst wo dem flüchtigen Beschauer Zufall und Regellosigkeit zu walten scheint, führt uns ein tieferes Studium sicher zur Erkenntniß der Gesetzmäßigkeit, welche ohne Zweifel überall vorhanden, nur öfters durch Verwickelungen verdeckt erscheint. — Diese Gesetzmäßigkeit überall in der Natur aufzusuchen, das Band zu enthüllen, welches die verschiedenen Erscheinungen verknüpft, das gerade ist die Aufgabe der Naturwissenschaften. In der Naturforschung muß deßhalb vor allen Dingen der Geist der Wahrheit herrschen, welcher Alles ohne Vorurtheil prüft, welcher stets bereit ist, der bessern Einsicht die frühere Meinung zu opfern und welcher es verachtet, durch Ueberredungskünste oder durch Scheingründe eine Ansicht geltend zu machen, für welche logisch zwingende Beweise fehlen. — Eine solche Taktik mag auf anderen Gebieten einen temporären Erfolg haben, in den Naturwissenschaften wird sie nie Boden finden.

Der wahre Naturforscher wird da, wo unsre Erkenntniß noch mangelhaft ist, lieber offen seine Unwissenheit bekennen, als mit hohler Phraseologie sich und Andere täuschen; er hält lieber die Fragen ganz offen, als daß er sich mit halben Erklärungen beruhigt und dadurch eine tiefere Untersuchung hindert.

Gesetzmäßigkeit findet der Zoologe und der Botaniker, wenn er mit dem Mikroskop die kleinsten Organismen untersucht, welche dem unbewaffneten Auge verschwinden; Gesetzmäßigkeit findet der Astronom in den Bahnen der Welten, welche die entferntesten Himmelsräume durchlaufen, zu welchen unser Blick nur mit Hülfe der besten Teleskope vorzudringen vermag.

Man wird wohl zugeben, daß eine Wissenschaft, deren Aufgabe es ist, das Gesetz in der Natur aufzusuchen, die Liebe für Gesetz und Ordnung auch in anderen Sphären fördern wird. In dem Maaße, in welchem der würdige, ruhige und nüchterne Geist der Naturwissenschaften an Ausbreitung gewinnt, muß nothwendig die Neigung zum Abenteuerlichen und Excentrischen allmälig abnehmen.

Auch im praktischen Leben wirken die Naturwissenschaften ausgleichend, regelnd, ordnend. Indem sie den allgemeinen Wohlstand

fördern helfen, wirken sie vortheilhaft auf die Moral des Volkes ein, welche überhaupt nur bei geregelten Lebensverhältnissen heimisch werden kann. Große Armuth und Aussichtslosigkeit, Unordnung und regellose Verhältnisse bringen immer die meisten Verbrechen hervor.

Betrachten wir, um ein spezielles Beispiel anzuführen, die Wirkung der Eisenbahnen auf die Volksmoral.

Wenn auch die in dem Hirtenbriefe eines französischen Bischofs ausgesprochene Ansicht, als ob die Eisenbahnen eine Strafe des Himmels für die Wirthe seyen, welche ihren Gästen während der Fasten Fleischspeisen vorgesetzt hätten, in Deutschland wenig Anhänger finden wird, so mag doch Mancher Bedenken gehegt haben, ob die Eisenbahnen nicht einen ungünstigen Einfluß auf die öffentliche Moral ausüben würden. Namentlich fürchtete man, daß sie eine allzugroße Beweglichkeit in die Bevölkerung bringen, daß sie die Vergnügungssüchtigen zu manchen Extravaganzen verleiten würden.

Die Erfahrung hat diese Besorgnisse nicht gerechtfertigt; dagegen zeigt sich, daß die Eisenbahnen, ganz abgesehen von den Vortheilen der Verkehrs-Erleichterung, allmälig einen günstigen Einfluß auf die Ordnungsliebe und die Präcision des Bürgers und des Bauern ausüben, indem sie, auf der einen Seite Zeit ersparend, auf der andern Seite auch auf präcise Einhaltung der Zeit denken müssen und dadurch auch den Werth der Zeit mehr schätzen lernen.

Den wohlthätigen Einfluß der Eisenbahnen beobachtet man besonders an Orten, an welchen von Zeit zu Zeit größere Märkte abgehalten werden. Früher trieben sich die Bauern der Umgegend bis in die Nacht lärmend und zechend in den Wirthshäusern herum, selbst auf dem Heimweg wurde noch eingekehrt, denn es war ja gleichgültig, ob man eine Stunde früher oder später heimkam, und da man einmal im Zuge war, so kam auch nichts darauf an, ob man ein paar Batzen mehr oder weniger verthat. — Jetzt eilt Jeder, mit dem letzten Zuge heimzukommen; die früheren in jeder Hinsicht nachtheiligen Extravaganzen haben zum Vortheil einer geregelten Hauswirthschaft fast ganz aufgehört.

So segensreich nun auch die Naturwissenschaften direkt oder indirekt zur Förderung der materiellen oder geistigen Wohlfahrt der Menschheit gewirkt haben, so fehlt es doch nicht an Solchen,

welche ihnen von Herzen gram sind, welche alle Uebel unsrer Zeit auf sie zurückführen und in ihnen namentlich eine Quelle der Irreligiosität erkennen wollen.

Dieser Vorwurf ist eben so ungerecht als unbegründet. In der Vorrede zu seinem trefflichen Werke „die Reformation der Sternkunde“ sagt Apelt sehr wahr und treffend: „Andere besorgen von den Fortschritten der Naturwissenschaften Gefahr für die Gebote der Tugend, die Ideen des Glaubens und die Hoffnungen der Religion. Wenn eine solche Gefahr vorhanden wäre, so würde man ihr dadurch sicher nicht entgehen, daß man sie ignorirt. — Aber es ist unnöthig zu befürchten, daß es um die heiligsten Interessen der Menschheit so schwach bestellt sey. Es wird des Glaubens bleiben, was des Glaubens ist und der Wissenschaft zufallen, was ihr gebührt. So wenig der Glaube selbst jemals zur Wissenschaft werden wird, so wenig wird die Wissenschaft den Glauben verdrängen können.“

In der That ist gar nicht einzusehen, wie vernünftiger Weise Religion und Naturwissenschaften in Konflikt kommen sollten, da sie sich auf ganz verschiedenen Gebieten bewegen, sich auf verschiedene Gegenstände beziehen und endlich auch die religiöse und naturwissenschaftliche Erkenntniß durchaus verschiedener Natur sind. Ein Streit ist hier nur durch einen Uebergriff auf fremdes Gebiet möglich, der freilich manchmal und zwar von beiden Seiten vorkommt.

Die Naturwissenschaften lehren uns klar die Grenze erkennen, wo das Wissen aufhört und der Glauben anfängt. Ein consequentes Verfolgen der induktiven Methode, welche auf dem Felde der Naturwissenschaften jetzt als die einzig richtige anerkannt ist, führt uns zu der Ueberzeugung, daß wir auf rein geistigem Gebiet weder durch Beobachtung noch durch Schlüsse zu der Sicherheit der Erkenntniß gelangen können, welche in Beziehung auf die Gesetze der materiellen Natur möglich ist, und doch weist uns die Natur selbst, so wie auch unser eigenes geistiges Leben auf jene höheren, dem blosen Verstande nicht erreichbaren Sphären hin. Es kann also in den Naturwissenschaften nichts liegen, was zur Mißachtung des religiösen Glaubens führt, im Gegentheil lehren sie uns jene Bescheidenheit, welche die Grundlage jeder wahren Religiosität bilden muß.

Der Glaube an Gott und die Unsterblichkeit ist tief in der Seele begründet, er ist ein geistiges Bedürfniß des Menschen und deßhalb auch Gemeingut aller Völker, die sich nur über die niedrigsten Kulturstufen erhoben haben. Der religiöse Glaube beruht aber auf einer moralischen Ueberzeugung und nicht auf logisch zwingenden Beweisen, und dadurch erklärt sich denn, wie in Betreff der religiösen Ansichten, je nach den Verhältnissen und den Bildungsstufen der Menschen, gar manche Verschiedenheiten stattfinden müssen und wohl auch ewig stattfinden werden.

Einmal zu dieser Einsicht gelangt, wird aber der wohlwollende Mensch jede fremde religiöse Ueberzeugung ehren und anerkennen, wenn sie nur lauter und redlich ist. Diese liebevolle Anerkennung aber ist die Quelle einer für die segensreiche Entwickelung menschlicher Zustände so wohlthätigen Duldung, die man gerade gegenwärtig wieder so gerne in Mißkredit bringen möchte.

Die Anschauungsweise, welche dem naturwissenschaftlichen Studium entwächst, tritt also dem wahrhaft religiösen Gefühl nicht im Mindesten entgegen, sondern sie bietet im Gegentheil mancherlei Momente zu seiner Belebung. Dagegen kann sie sich freilich nicht mit einer intoleranten und exclusiven Richtung befreunden, welche, die christliche Liebe vergessend, den Geist der Form, die religiösen Interessen den hierarchischen opfert. Dem religiösen Fanatismus, welchen man gerade jetzt wieder, in einer Zeit, wo eine gediegene Religiosität so sehr Noth thäte, zum Unheil des Vaterlandes heraufzubeschwören bemüht ist, wird freilich der Geist der Naturwissenschaften stets entgegen seyn, denn die Humanität, welche durch naturwissenschaftliche Studien gefördert wird, bildet gerade den Gegensatz des Fanatismus, auf welchem Boden und in welchen Formen er auch auftreten mag.

Die Naturwissenschaften, welchen die Aufklärung und die fortschreitende geistige Bildung schon so viel verdankt, werden auch in der Zukunft eine mächtige Stütze der Kultur und Humanität seyn.

Euler, Leonhard, 1707-1783 / Euler, Leonhard, / Müller, Johann Heinrich Jacob,

Physikalische Briefe für Gebildete aller Stände

Bd.: 4

Leipzig [u.a.] 1853